

Praktyka ochrony środowiska

Redakcja naukowa

Adam Lesiuk

**WYDAWNICTWO UNIWERSYTETU MARII CURIE-SKŁODOWSKIEJ
LUBLIN 2015**

RECENZENCI

Prof. dr hab. Leszek Wachowski – Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Prof. dr hab. Piotr Tryjanowski – Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

REDAKCJA

Sylwia Pociupany

REDAKCJA TECHNICZNA

Roman Fiut

SKŁAD, ŁAMANIE

Agnieszka Muchowska

PROJEKT OKŁADKI

Studio Format, fot. Chris Penny

© Wydawnictwo UMCS, Lublin 2015

ISBN 978-83-7784-725-1

WYDAWNICTWO UNIwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej

20-031 Lublin, ul. Idziego Radziszewskiego 11

tel. (81) 537 53 04

www.wydawnictwo.umcs.lublin.pl

e-mail: sekretariat@wydawnictwo.umcs.lublin.pl

DZIAŁ HANDLOWY

tel./fax (81) 537 53 02

Księgarnia internetowa: www.wydawnictwo.umcs.eu

e-mail: wydawnictwo@umcs.eu

DRUK I OPRAWA

Drukarnia „Elpil”

ul. Artyleryjska 11, 08-110 Siedlce



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Publikacja współfinansowana ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

EGZEMPLARZ DYSTRYBUOWANY BEZPŁATNIE

Spis treści

Wprowadzenie	7
<i>Marcin Rycaj</i> System zagospodarowania odpadów komunalnych w świetle nowych przepisów	9
<i>Leszek Żelazny</i> Rola kontroli inspekcji ochrony środowiska w systemie ochrony środowiska	35
<i>Wojciech Świątek</i> Uwarunkowania środowiskowe i zasady bezpieczeństwa w transporcie materiałów niebezpiecznych	53
<i>Grażyna Mielczarek</i> Rola systemu reach w zarządzaniu chemikaliami	79
<i>Janusz Ryczkowski</i> Energia i środowisko – nowoczesne technologie w przemyśle	93
<i>Renata Łyszczek</i> Praktyczne aspekty nauczania chemii ogólnej na studiach ochrony środowiska	137
<i>Elżbieta Wojtanowicz</i> Decyzje środowiskowe w praktyce ochrony środowiska	147
<i>Paweł Wojtanowicz</i> Udział społeczeństwa w postępowaniach dotyczących oceny oddziaływania na środowisko w Lublinie w latach 2005–2014	171

<i>Michał Piskorski</i>	
System monitoringu nietoperzy w polsce	187
<i>Marcin Polak</i>	
Monitoring i ochrona ptaków w wybranych ekosystemach w Polsce.....	209
<i>Marek Kucharczyk</i>	
System monitoringu i ochrona siedlisk przyrodniczych na obszarach Natura 2000	229
<i>Leszek Łajtar</i>	
Zastosowanie metod matematycznych w chemii i ochronie środowiska.....	247

Wprowadzenie

Ochrona środowiska jest jednym z ważniejszych wyzwań świata w XXI wieku. Zwiększająca się liczba ludności oraz zmniejszające zasoby środowiska wymagają od nas odpowiedzialności za przyszłe losy następnych pokoleń. Ochrona środowiska to duże wyzwanie dla nauczycieli kształcących studentów na kierunkach środowiskowych. Niniejsza monografia ma przybliżyć zagadnienia środowiskowe od strony praktycznej w różnych obszarach wiedzy o środowisku. Jest ona podsumowaniem projektu „Od studenta do eksperta – ochrona środowiska w praktyce”, który był realizowany w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki w latach 2009–2015 na Uniwersytecie Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie.

Projekt miał na celu przekazanie studentom (uczestnikom zadań) wiedzy praktycznej z zakresu ochrony środowiska i chemii, stosowanej na co dzień przy realizacji obowiązków środowiskowych przez jednostki samorządowe i rządowe odpowiedzialne za bezpieczeństwo środowiskowe. Celem głównym projektu „Od studenta do eksperta – ochrona środowiska w praktyce” było wsparcie procesu dydaktycznego na kierunkach ochrona środowiska i chemia, poprzez uzupełnienie wiedzy studentów oraz zintegrowanie wiedzy teoretycznej z praktyką. W ramach Projektu zrealizowano szereg specjalistycznych szkoleń i kursów m.in.:

- zajęcia wyrównawcze dla studentów na uzupełnienie wiedzy z elementów matematyki i chemii ogólnej);
- szkolenia z zakresu technik pracy umysłowej i metod uczenia się;
- szkolenia prowadzone przez praktyków i ekspertów z zakresu procedur administracyjnych, obowiązującego prawa ochrony środowiska, gospodarki odpadami, decyzji środowiskowych, bezpieczeństwa chemicznego;
- ćwiczenia terenowe prowadzone w Parkach Narodowych (Biebrzański i Białowiecki) oraz Krajobrazowych (Podlaski Przełom Bugu) z rozpo-

- znawania gatunków chronionych i oceny siedlisk oraz monitoringu fizykochemicznego środowiska;
- szkolenia z zakresu systemów zarządzania jakością, bezpieczeństwem i higieną pracy oraz środowiskiem prowadzony przez ekspertów zewnętrznych;
 - wyjazdy na targi POLEKO w Poznaniu oraz do zakładów przemysłowych wykorzystujących nowoczesne technologie środowiskowe;
 - praktyki zawodowe w wybranych przedsiębiorstwach i urzędach.

Zrealizowany Projekt przybliżył wielu studentom praktyczną stronę ochrony środowiska, przez co zwiększył ich szansę na rynku pracy. Artykuły zebrane w monografii zostały napisane przez praktyków z wybranych dziedzin ochrony środowiska i bezpieczeństwa chemicznego. Mam nadzieję, że będzie ona dobrym uzupełnieniem procesu dydaktycznego przy kształceniu przyszłych specjalistów zajmujących się ochroną środowiska.

Monografię dedykuję wszystkim osobom zaangażowanym w realizację Projektu oraz jego uczestnikom.

Energia i środowisko – nowoczesne technologie w przemyśle

Janusz Ryczkowski

Zakład Technologii Chemicznej na Wydziale Chemii UMCS w Lublinie

Przełom XX i XXI wieku jest uważany za początek ery ekologicznej. Obecnie najważniejszym wyzwaniem dla ludzkości staje się ograniczenie zagrożeń wywołanych przez rozwój cywilizacyjny dla pogodzenia skutków wzrostu liczby ludności i postępu technologicznego z bezpieczeństwem środowiskowym.

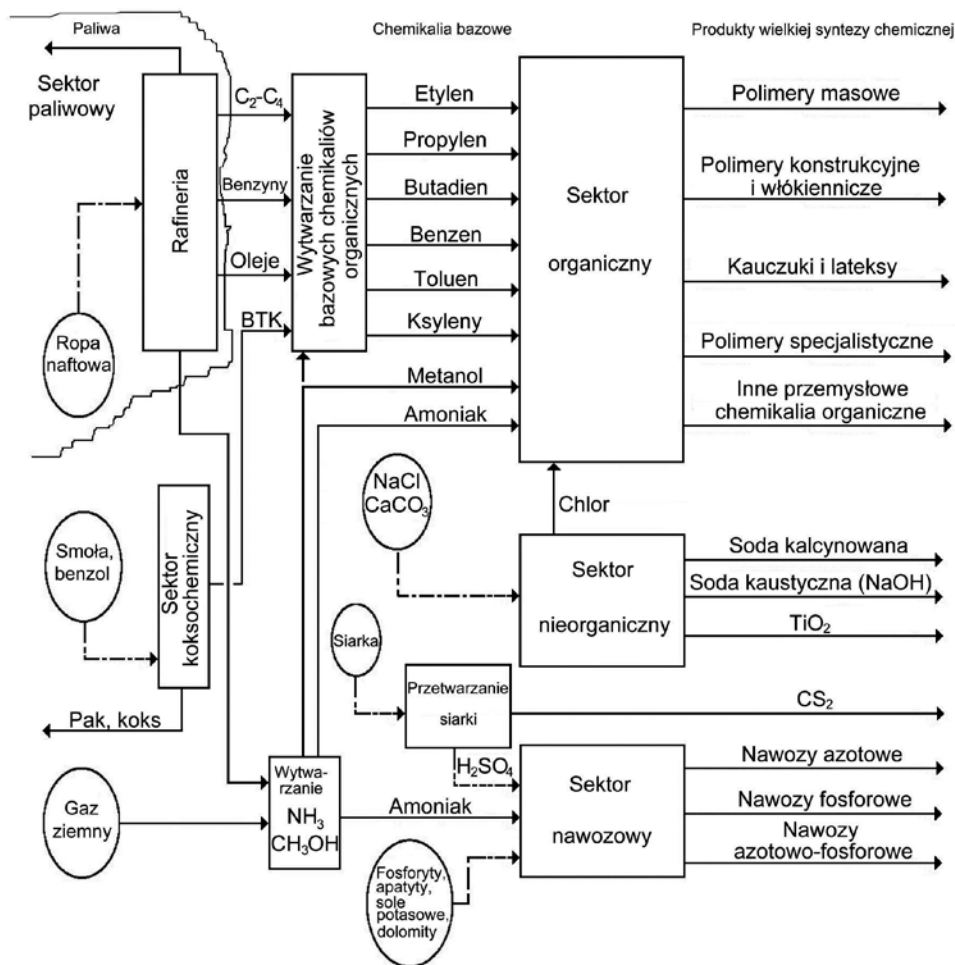
Szczególnie istotne są działania służące rozwiązywaniu problemów ochrony zdrowia i wyżywienia, zaspokajania potrzeb energetycznych, racjonalnego gospodarowania surowcami przy równoczesnym zachowaniu ostrych wymagań ochrony środowiska. We wszystkich wymienionych dziedzinach chemia była, jest i będzie jedną z najważniejszych gałęzi przemysłu tworzących postęp, a więc oczywistym fundamentem rozwoju cywilizacji i kultury. Obecny rozwój nauki i techniki wskazuje, że chemia utrzyma swą pierwszoplanową rolę w tym rozwoju, a nawet ją zwiększy.

Przemysł chemiczny jest jedną z najważniejszych gałęzi przemysłu przetwórczego w Polsce i obejmuje (rys. 1):

- przemysł chemii organicznej – produkty na bazie węgla kamiennego, ropy naftowej, gazu ziemnego, drewna, kauczuku, tłuszczów i innych substancji organicznych;
- przemysł chemii nieorganicznej – produkty na bazie takich surowców jak: siarka, fosforyty, sole mineralne, składniki powietrza i inne materiały nieorganiczne.

Powiązania surowcowe i półproduktowe mają istotne znaczenie dla struktury technologicznej. Niedobory i wahania cen surowców i półproduktów (w tym również paliw) mają wpływ na efektywność ekonomiczną produkcji całego sektora chemicznego.

Szacuje się, że ponad 95% wydobywanych obecnie paliw kopalnych (węgiel, gaz ziemny oraz ropa naftowa) przeznacza się na potrzeby przemysłu energetycznego oraz transportowego. Pozostała część, pochodząca głów-

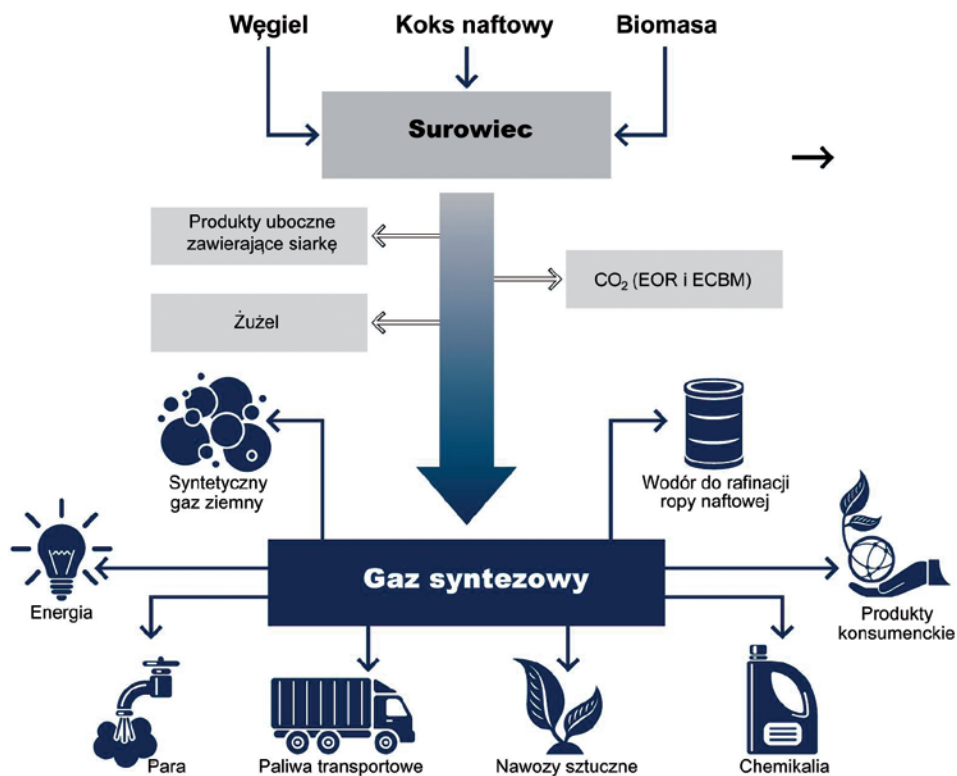


Rys. 1. Ogólny schemat powiązań surowcowo-produktowych przemysłu chemicznego (BTK – benzen, toluen, ksylen) [1]

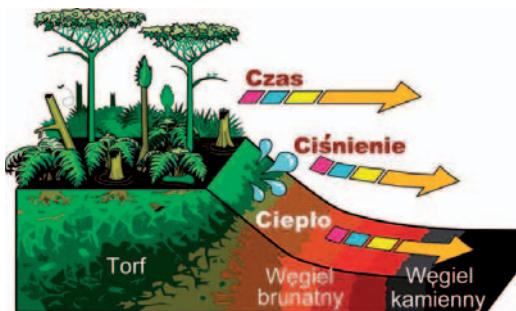
nie z procesów przetwórstwa ropy naftowej, jest wykorzystywana jako bogate źródło węglowodorów, służących do syntezy szerokiej gamy produktów [2–9] (rys. 2).

Prekursorami węgla były szczątki roślinne (zawierające węgiel, wodór i tlen) z okresu karbonu (w erze paleozoicznej, 345–280 milionów lat temu), które bez dostępu tlenu uległy uwęgleniu (rys. 3).

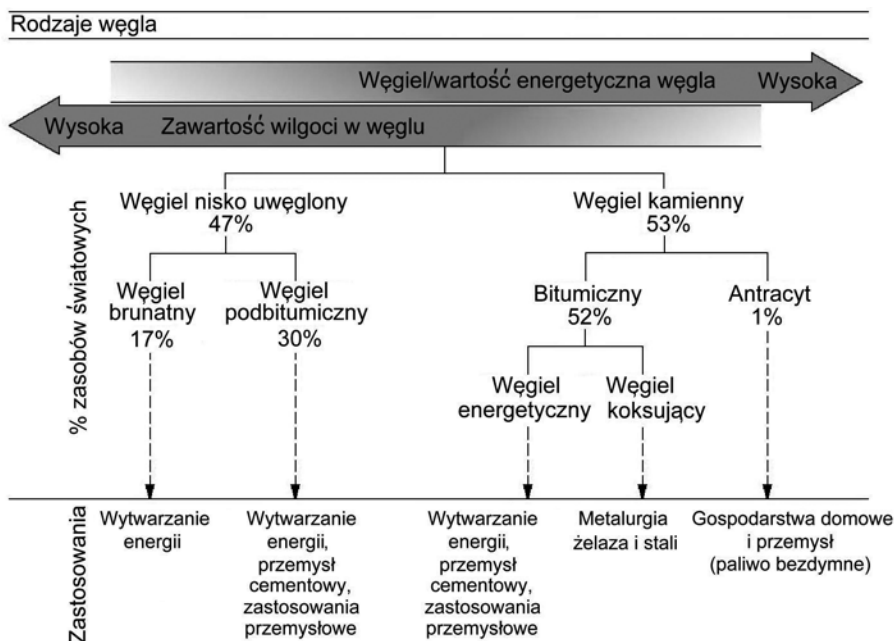
W zależności od warunków powstawania węgla, w chwili obecnej kierunki jego wykorzystania są bardzo zróżnicowane (rys. 4). Obecnie węgiel



Rys. 2. Schematyczne przedstawienie produktów konwersji węgla, koksu naftowego i biomasy



Rys. 3. Schemat powstawania węgla [10]



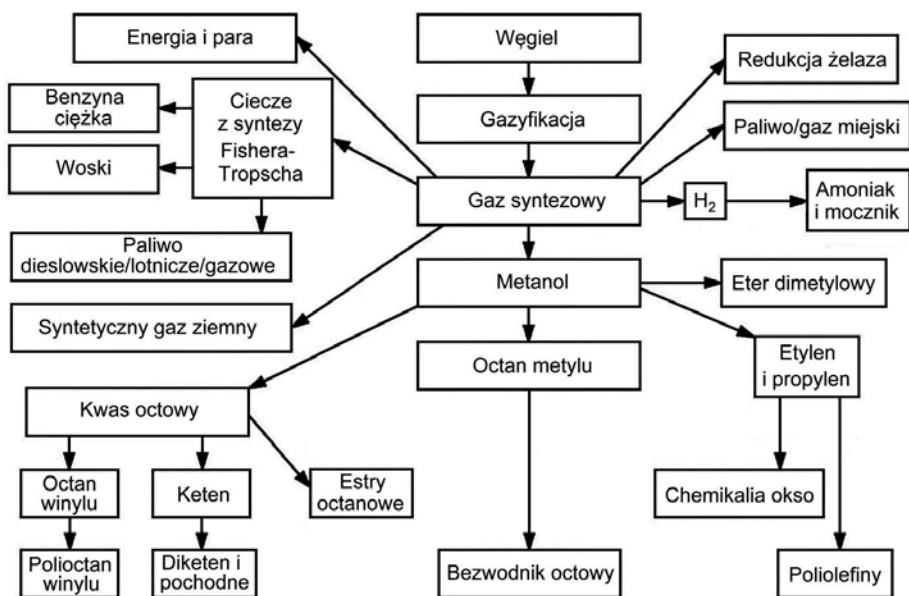
Rys. 4. Rodzaje węgla i kierunki jego wykorzystania [10]

jest wykorzystywany głównie jako paliwo stałe do produkcji elektryczności (około 40% światowej, wyprodukowanej energii elektrycznej powstaje przy udziale węgla) oraz ciepła [10].

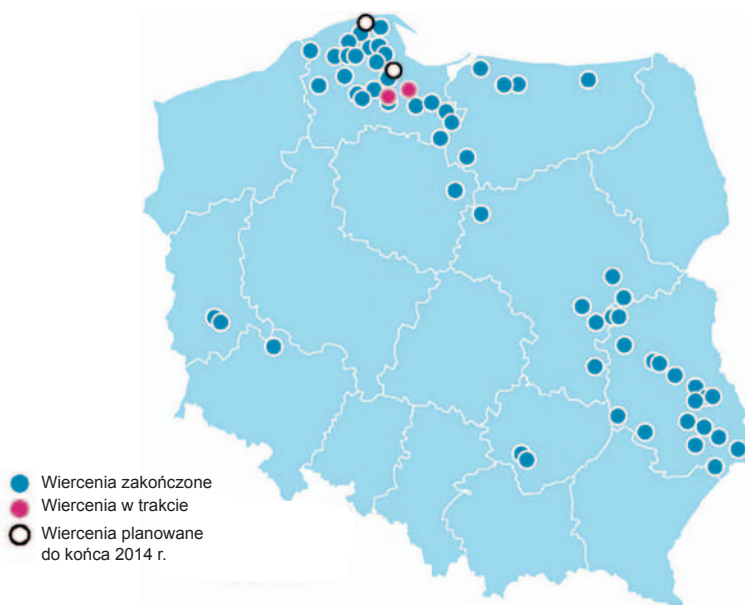
Gazyfikacja węgla z wytworzeniem gazu syntezowego otwiera alternatywne kierunki wykorzystania tego paliwa, co schematycznie przedstawiono na rys. 5.

Zwiększone zainteresowanie, ze strony inwestorów, węglowodorami ze złóż niekonwencjonalnych pojawiło się w Polsce po publikacji opracowania „Advanced Research International dla Energy Information Administration”, szacującej wydobywalne zasoby gazu z formacji łupkowych w Polsce na 5,3 bln m³ (dane z kwietnia 2011 r.). Do końca czerwca 2014 r. wykonano w Polsce 64 odwierty (rys. 6) w poszukiwaniu złóż oraz przeprowadzono łącznie 26 zabiegów szczelinowania o różnym zakresie. Obecnie tempo prowadzonych i planowanych prac wiertniczych spada. Daje to mniejsze szanse na rzetelne udokumentowanie zasobów w perspektywie kolejnych kilku lat [11].

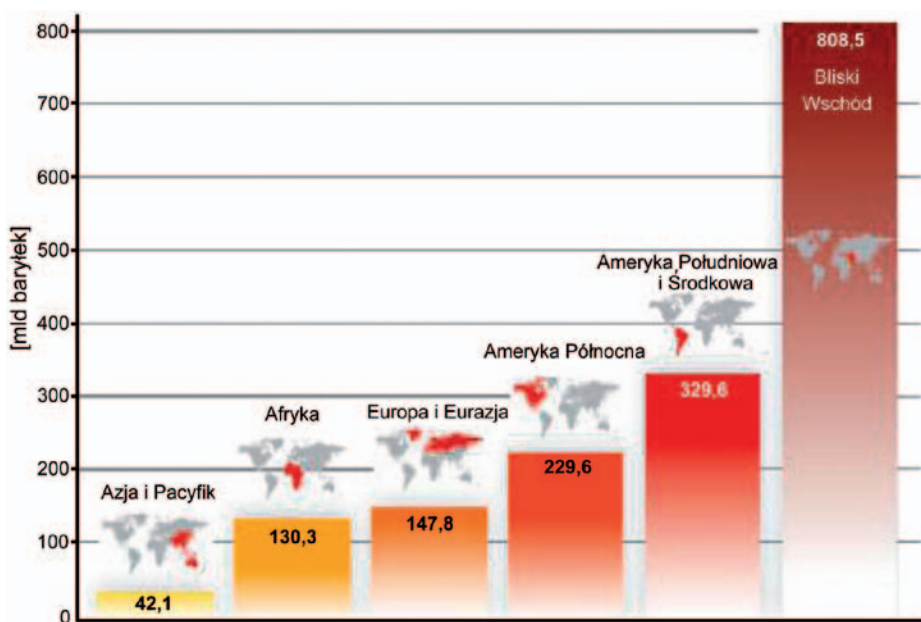
Jedną z przyczyn spadku zainteresowania niekonwencjonalnymi złożami węglowodorów są stosunkowo wysokie, udokumentowane zasoby gazu ziemnego i ropy naftowej (rys. 7), a także spadająca cena tych surowców



Rys. 5. Schemat ilustrujący potencjalne kierunki wykorzystania produktów pochodzących z gazyfikacji węgla [10]



Rys. 6. Lokalizacja otworów poszukiwawczych za gazem ze złóż niekonwencjonalnych w Polsce dane z 30.06.2014) [11]



Rys. 7. Potwierdzone zasoby ropy naftowej na świecie na koniec 2013 r. [mld baryłek]
(1 baryłka = ~159 l) [11]

(cena baryłki ropy naftowej w styczniu 2015 r. poniżej 50 USD).

Pogodzenie wzrostu gospodarczego z dbałością o środowisko to obecnie jedno z największych wyzwań, przed jakimi stoi Polska. Jest to szczególnie istotne w kontekście zmian zachodzących w światowej gospodarce związanych z dążeniem do wzrostu poziomu życia obywateli, koniecznością efektywnego wykorzystania zasobów naturalnych oraz potrzebą zmian wzorców produkcji i konsumpcji.

Podstawowym warunkiem zrównoważonego rozwoju jest zagwarantowanie wysokiej jakości życia obecnym i przyszłym pokoleniom, przy racjonalnym korzystaniu z dostępnych zasobów. Podejście to ma charakter dominujący w międzynarodowych stosunkach gospodarczych, a w ostatnich latach koncentruje się na konieczności transformacji systemów społeczno-gospodarczych w kierunku tak zwanej zielonej gospodarki. Strategia Bezpieczeństwo Energetyczne i Środowisko (BEiŚ) obejmuje dwa niezwykle istotne obszary: energetykę i środowisko, wskazując między innymi kluczowe reformy i niezbędne działania, które powinny zostać podjęte w perspektywie do 2020 roku. Podstawowe zadanie strategii BEiŚ polega na zintegrowaniu polityki środowiskowej z polityką energetyczną tam, gdzie aspekty te prze-

nikają się w dostrzegalny sposób, jak również wytyczenie kierunków, w jakich powinna rozwijać się branża energetyczna oraz wskazanie priorytetów w ochronie środowiska. Powodzenie realizacji BEiŚ jest m.in. uzależnione od właściwego przygotowania logistycznego (tab. 1).

Tabela 1. Analiza SWOT ochrony środowiska i sektora energetyki (SWOT: S – strengths, mocne strony; W – weaknesses, słabe strony; O – opportunities, szanse; T – threats, zagrożenia) [12]

	Pozytywne	Negatywne
Wewnętrzne	Mocne strony – Posiadanie znacznych zasobów węgla i znacznego potencjału rolnictwa energetycznego – Rynkowe zasady funkcjonowania w elektroenergetyce – Posiadanie cennych zasobów przyrodniczych – Rozbudowana infrastruktura wytwórcza i przesyłowa energii – Wysokie kwalifikacje kadry pracującej w sektorze energetyki i kadry związanej z ochroną środowiska	Słabe strony – Nierównomierne rozmieszczenie jednostek wytwórczych energii elektrycznej – Wysoka emisja CO₂ – Duża energochłonność gospodarki – Wyeksploatowanie infrastruktury wytwórczej, przesyłowej i dystrybucyjnej energii – Nieodpowiednia jakość powietrza – Duża materiałochłonność gospodarki – Niewystarczający stan czystości wód powierzchniowych, – Wzrost ilości wytwarzanych odpadów komunalnych i osadów ściekowych
Zewnętrzne	Szanse – Dywersyfikacja energy mix poprzez rozwój energetyki jądrowej i OZE – Duży potencjał poprawy efektywności energetycznej – Możliwość rozwoju konkurencji na rynkach paliw i energii – Duży potencjał w oczyszczaniu wód – Możliwość zagospodarowanie odpadów na cele energetyczne – Rozwój innowacji środowiskowo-energetycznych – Wykorzystanie środków europejskich – Rozwój energetyki rozproszonej na terenach wiejskich – Potencjalne duże zasoby gazu łupkowego	Zagrożenia – Nadmierne oddziaływanie sektora energetyki na środowisko – Nieefektywny system planowania przestrzennego – Brak odpowiedniego gospodarowania wodami – Niska świadomość ekologiczna społeczeństwa – Długi cykl inwestycyjny w energetyce – Kapitałochłonność inwestycji energetycznych – Nadmierne zaostrzanie polityki klimatycznej UE – Skutki urbanizacji, zwłaszcza pozbawionej kontroli planistycznej

Priorytetowe w zakresie ochrony środowiska będą zmiany w zakresie ograniczenia zanieczyszczeń powietrza oraz reforma systemu gospodarki wodnej. Przy jednoczesnym wzroście produkcji energii elektrycznej i zapewnieniu pokrycia zapotrzebowania na energię ciepłą musi następować redukcja emisji zanieczyszczeń do atmosfery substancji takich jak tlenki azotu (NO_x), SO_2 , CO, pyły PM10 i PM2,5, benzo(α)pirenu oraz WWA (wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne) [12].

Celem głównym strategii BEiŚ jest zapewnienie wysokiej jakości życia obecnych i przyszłych pokoleń z uwzględnieniem ochrony środowiska oraz stworzenie warunków do zrównoważonego rozwoju nowoczesnego sektora energetycznego, zdolnego zapewnić Polsce bezpieczeństwo energetyczne oraz konkurencyjną i efektywną gospodarkę. Cel główny BEiŚ realizowany będzie poprzez cele szczegółowe i kierunki interwencji przedstawione w tabeli 2.

Strategia BEiŚ stanowi odpowiedź na najważniejsze wyzwania stojące przed Polską w perspektywie do 2020 r. w zakresie środowiska i energetyki, które zostały zdefiniowane jako priorytety krajowe w Długookresowej Strategii Rozwoju Kraju (DSRK) do 2030 r., jak i w średniookresowej Strategii Rozwoju Kraju 2020. Cele i działania zaplanowane w BEiŚ są także zgodne z celami strategii Europa 2020. W zakresie energetyki zgodność ta dotyczy pięciu priorytetów strategii energetycznej UE, tj. podniesienia efektywności energetycznej w Europie, utworzenia zintegrowanego, ogólnoeuropejskiego rynku energii, nadania szerszych uprawnień konsumentom i uzyskania najwyższego poziomu bezpieczeństwa i niezawodności, wzmocnienia przywództwa Europy w zakresie technologii energetycznych i innowacji, a także wzmocnienia zewnętrznego wymiaru rynku energii UE.

W zakresie polityk środowiskowych BEiŚ jest zgodne z podejściem UE prezentowanym w jednej z inicjatyw przewodnich strategii Europa 2020 – Europa efektywnie korzystająca z zasobów [12].

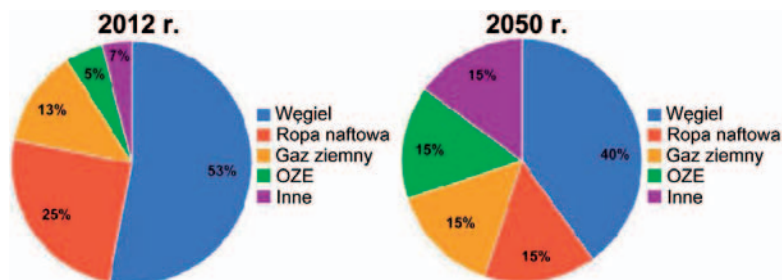
Strategia energetyczna dla Polski na kolejne dekady to kluczowa kwestia, gdyż dla stabilnego wzrostu gospodarczego potrzebna jest niezawodność dostaw energii i jej niska cena.

Obecnie głównym nurtem rozwijanym w dziedzinie pozyskiwania energii są odnawialne źródła, racjonalizacja jej zużycia oraz zmniejszanie energochłonności.

Aktualnie rząd pracuje nad Polityką energetyczną Polski do 2050 roku. Niedawno pojawił się projekt dokumentu, który określa cele i kierunki rozwoju sektora energetycznego w naszym państwie. Bazowy scenariusz nazwany zrównoważonym zakłada, że wciąż dominującym źródłem energii będzie węgiel (rys. 8), zapewniający bezpieczeństwo energetyczne kraju.

Tabela 2. Cele szczegółowe i kierunki interwencji Strategii BEiŚ [12]

Zrównoważone gospodarowanie zasobami środowiska	Zapewnienie gospodarcze krajowej bezpiecznego i konkurencyjnego zaopatrzenia w energię	Poprawa stanu środowiska
Racjonalne i efektywne gospodarowanie zasobami kopalin	Lepsze wykorzystanie krajowych zasobów energii	Zapewnienie dostępu do czystej wody dla społeczeństwa i gospodarki
Gospodarowanie wodami dla ochrony przed powodzią, suszą i deficytem wody	Poprawa efektywności energetycznej	Racjonalne gospodarowanie odpadami, w tym wykorzystanie ich na cele energetyczne
Zachowanie bogactwa różnorodności biologicznej w tym wielofunkcyjna gospodarka leśna	Zapewnienie bezpieczeństwa dostaw importowanych surowców energetycznych	Ochrona powietrza, w tym ograniczenie oddziaływania energetyki
Uporządkowanie zarządzania przestrzenią	Modernizacja sektora elektroenergetyki zawodowej, w tym przygotowanie do wprowadzenia energetyki jądrowej	Wspieranie nowych oraz promocja polskich technologii energetycznych i środowiskowych
	Rozwój konkurencji na rynkach paliw i energii oraz umacnianie pozycji odbiorcy	Promowanie zachowań ekologicznych oraz tworzenie warunków do powstawania zielonych miejsc pracy
	Wzrost znaczenia rozproszonych odnawialnych źródeł energii	
	Rozwój energetyki na obszarach podmiejskich i wiejskich	



Rys. 8. Bilans energii pierwotnej (OZE – odnawialne źródła energii) [13]

Jego rola będzie jednak w przyszłości ograniczona poprzez zwiększanie udziału źródeł energii odnawialnej (OZE) do 10% (w transporcie do 15%) oraz powstania dwóch elektrowni atomowych o łącznej mocy 6000 MW, mających 15% wkład w bilans energii pierwotnej. Pierwszy z wymienionych celów wskaźnikowych ma zostać osiągnięty już w 2020 r., po czym nakłady inwestycyjne oraz rządowe wsparcie dla rozwoju odnawialnych źródeł energii zaczną maleć [13].

Obecnie ludzkość stoi przed poważnymi wyzwaniami energetycznymi. Zapotrzebowanie na energię elektryczną będzie rosło ze względu na wzrost liczby ludności oraz podniesienie poziomu konsumpcji energii. Zgodnie z prognozami światowe zapotrzebowanie na energię ma się zwiększyć o jedną trzecią w stosunku do roku 2011. Gdyby przewidywania te się sprawdziły, to, według obecnych szacunków, w ciągu kolejnych 50 lat wyczerpią się światowe zapasy ropy naftowej i gazu ziemnego a węgla – za ponad 100 lat. Równocześnie z koniecznością zaspokojenia rosnących potrzeb energetycznych oraz z uwagi na ograniczoną dostępność paliw kopalnych kolejnym wyzwaniem dla światowej energetyki jest zahamowanie zmian klimatu [14]. Energetyka jądrowa wydaje się więc rozwiązaniem większości istniejących problemów [15].

W UE, gdzie pracuje już 131 reaktorów, budowane są 4 reaktory, a w planach jest kolejnych kilkanaście (rys. 9).

Europejską rekordzistką jest Francja – jej 58 siłowni dostarcza do sieci blisko 75% produkowanej w kraju energii elektrycznej. W samej okolicy Polski, w promieniu około 300 km, znajduje się 10 elektrowni jądrowych (23 bloki energetyczne), a kolejne mogą niedługo zostać zbudowane (rys. 10).

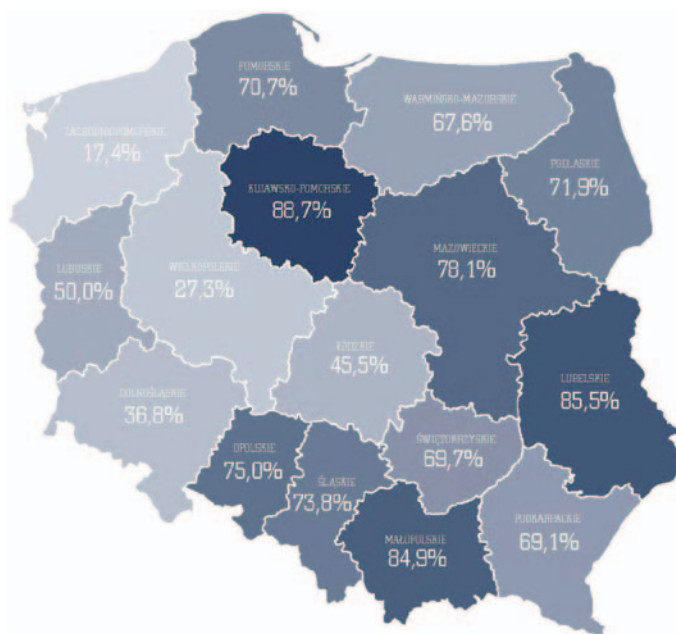
Trzeba jednak dodać, że w związku z decyzją niektórych państw o wycofaniu się z energetyki jądrowej przewiduje się zamknięcie wielu reaktorów w najbliższych latach, zwłaszcza w Niemczech (9) oraz Belgii i Hiszpanii (po 7) po upływie okresu ich eksploatacji [15].



Rys. 9. Liczba reaktorów jądrowych w krajach Unii Europejskiej [15]



Rys. 10. Elektrownie jądrowe w sąsiedztwie Polski [15]



Rys. 11. Poparcie dla energetyki jądrowej według województw [15]

Ze względu na wysoki stopień uzależnienia polskiej gospodarki od dostaw rosyjskich surowców energetycznych (ropy naftowej i gazu ziemnego), coraz ważniejsza staje się niezależność energetyczna kraju. Spośród różnych działań zwiększających bezpieczeństwo i niezależność energetyczną najczęściej badanych opowiada się za rozwojem odnawianych źródeł energii (58%) oraz energetyki jądrowej (48%) (rys. 11). Dopiero na dalszym miejscu znajduje się wydobywanie gazu łupkowego oraz rozwój energetyki węglowej.

Przyjęcie przez Unię Europejską pakietu klimatyczno-energetycznego, który ma na celu przede wszystkim zredukowanie emisji gazów cieplarnianych o 40% powoduje, iż w Polsce podjęte zostaną działania zmierzające do zmiany struktury wytwarzania energii elektrycznej. Nową erę ma zapoczątkować elektrownia jądrowa, która według Programu Polskiej Energetyki Jądrowej powstanie około 2022 r. (przewidziane uruchomienie w 2024 r.). Prognozuje się, iż do 2030 r. powinny powstać elektrownie jądrowe o łącznej mocy 4500 MW, co stanowiłoby 17–19% krajowej produkcji energii elektrycznej i przybliżyło Polskę do średniej z krajów UE [13].

Uwzględniając niskie poparcie mieszkańców województwa zachodniopomorskiego dla energetyki jądrowej (rys. 11) wydaje się, że potencjalnymi lokalizacjami są te, które przedstawiono na rys. 12.



Rys. 12. Potencjalne lokalizacje polskiej elektrowni jądrowej [14]



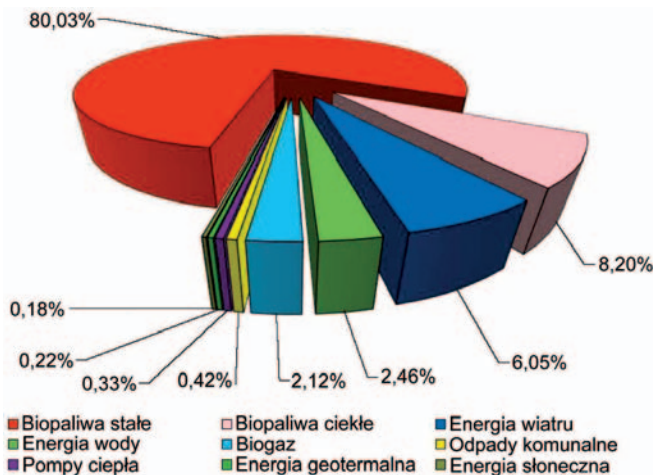
Rys. 13. Możliwe lokalizacje składowisk materiałów radioaktywnych [13]

W dalszej perspektywie czasowej niezmiernie istotną rzeczą jest wcześniejsze zaplanowanie i przygotowanie miejsca do składowania odpadów radioaktywnych (rys. 13).

Odnawialne źródła energii (OZE) stanowią alternatywę dla tradycyjnych pierwotnych nieodnawialnych nośników energii (paliw kopalnych). Ich zasoby uzupełniają się w naturalnych procesach, co praktycznie pozwala traktować je jako niewyczerpalne. Ponadto pozyskiwanie energii z tych źródeł jest, w porównaniu ze źródłami tradycyjnymi (kopalnymi), bardziej przyjazne środowisku naturalnemu. Wykorzystywanie OZE w znacznym stopniu zmniejsza szkodliwe oddziaływanie energetyki na środowisko naturalne, głównie poprzez ograniczenie emisji szkodliwych substancji, zwłaszcza gazów cieplarnianych [16].

W warunkach krajowych energia ze źródeł odnawialnych obejmuje energię promieniowania słonecznego, wody, wiatru, zasobów geotermalnych oraz energię wytworzoną z biopaliw stałych, biogazu i biopaliw ciekłych, a także energię otoczenia pozyskiwaną przez pompy ciepła.

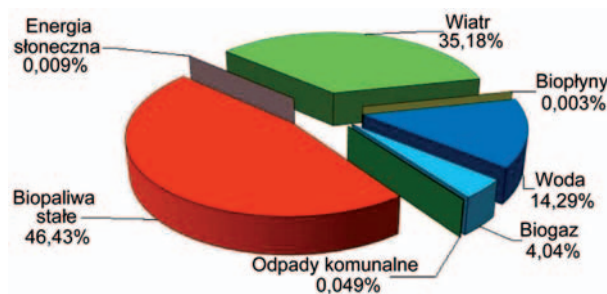
Energia pozyskiwana ze źródeł odnawialnych w Polsce pochodzi w przeważającym stopniu z biopaliw stałych (80%), biopaliw ciekłych, z energii wiatru, energii wody i biogazu (rys. 14).



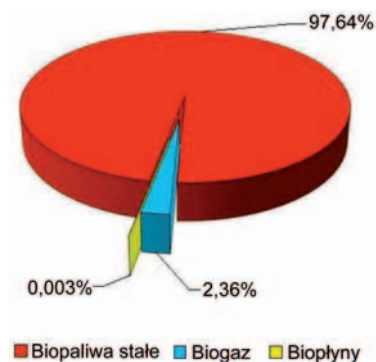
Rys. 14. Pozyskiwanie energii ze źródeł odnawialnych według nośników w Polsce w 2013 r. [17]

W roku 2013 energia elektryczna wytworzona z OZE pochodziła głównie: z biopaliw stałych, energii wiatru, energii wody oraz z biogazu (rys. 15).

W omawianym okresie biopaliwa stałe stanowiły podstawowy nośnik w produkcji ciepła z OZE (rys. 16).



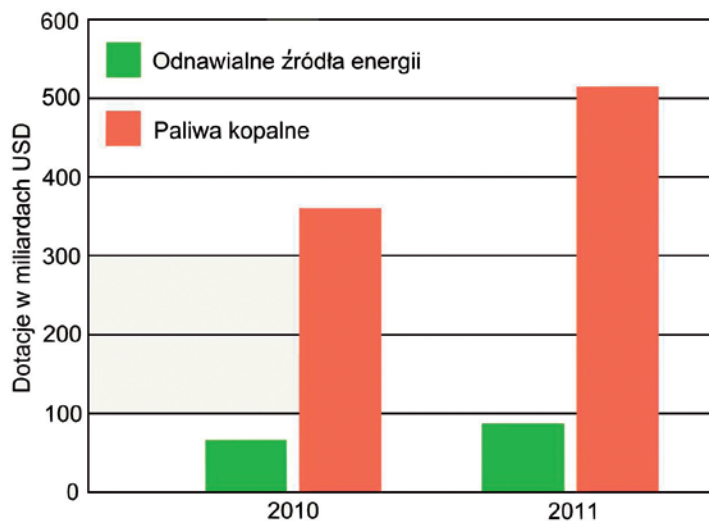
Rys. 15. Udział nośników energii odnawialnej w produkcji energii elektrycznej w 2013 r. [17]



Rys. 16. Udział nośników energii odnawialnej w produkcji ciepła w 2013 r. [17]

Udział energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto w 2013 r. wyniósł 11,3% i wzrósł o 4,1 punktu procentowego w stosunku do roku 2005 [17].

Energia odnawialna i efektywność energetyczna to kluczowe zagadnienia na drodze do realizacji przemiany w dziedzinie energetyki, która zapewni nam wszystkim bezpieczną przyszłość. Energia pozyskiwana ze słońca, wiatru, morza, ciepła Ziemi, wody i biomasy może być przyjazną dla środowiska, zrównoważoną alternatywną metodą zaspokojenia światowego zapotrzebowania na energię. Pozyskiwanie energii ze źródeł odnawialnych (OZE) może znacznie zwiększyć dobrobyt społeczny i wpłynąć korzystnie na środowisko, szczególnie poprzez zapewnienie przystępnej cenowo, niezawodnej i czystej energii dla wszystkich. Odnawialne źródła energii praktycznie nie mogą konkurować z energią konwencjonalną bez wyrównania wsparcia oraz przekształcania dotacji do paliw kopalnych we wsparcie dla energii odnawialnej i efektywności energetycznej (rys. 17).

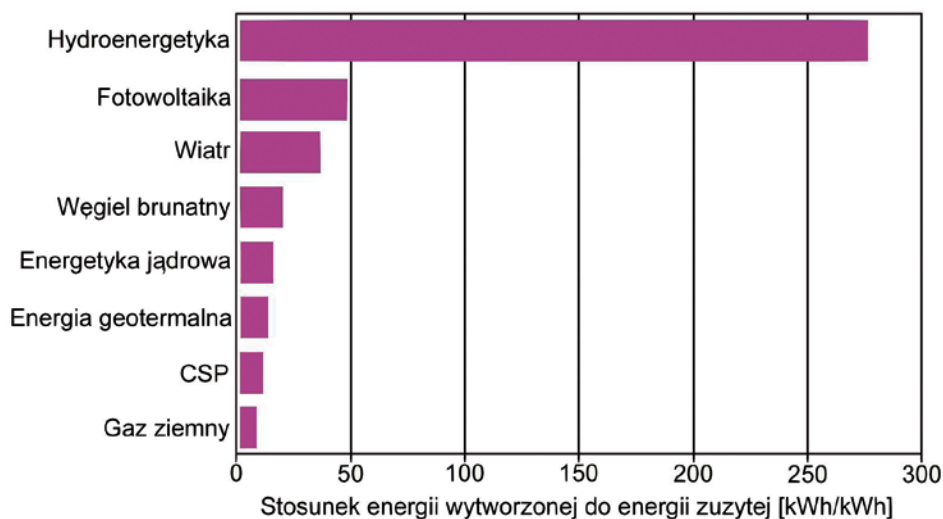


Rys. 17. Dotacje (2010–2011): odnawialne źródła energii a paliwa kopalne [18]

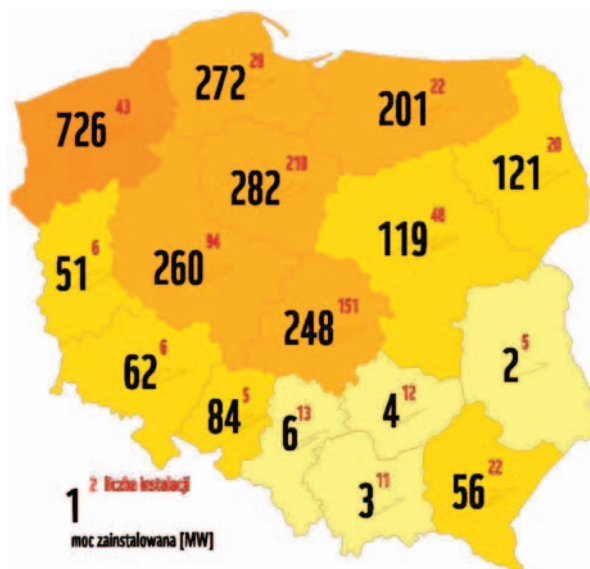
Technologie oparte na OZE zużywają energię na różnych etapach okresu eksploatacji: od momentu wydobywania surowców z zasobów ziemi, poprzez produkcję niezbędnych podzespołów (np. paneli fotowoltaicznych lub turbin wiatrowych), aż po wycofanie technologii z eksploatacji. Obraz tej kwestii jest często wypaczany i wyolbrzymiany w celu uzasadnienia, że wytwarzanie elementów technologicznych niezbędnych do korzystania ze źródeł odnawialnych wymaga więcej energii niż technologia ta dostarcza. Jednym ze wskaźników, który pozwala porównać wydajność energetyczną technologii opartych na OZE oraz technologii konwencjonalnych w pełnym cyklu życia jest wskaźnik zwrotu energii zainwestowanej (*energy return on investment – EROI*) (rys. 18).

Biorąc pod uwagę wartości wskaźnika EROI technologie solarne oraz inne technologie oparte na OZE zapewniają znacznie więcej energii niż jest zużywane na ich wytworzenie. Nowoczesne technologie oparte na OZE, takie jak fotowoltaika oraz turbiny wiatrowe, mogą generować ponad 2 razy więcej energii niż technologie konwencjonalne w całym okresie eksploatacji technologii. Z kolei energetyka wodna może generować nawet 15-krotnie więcej energii (rys. 18) [18].

Źródła pogodowo niestabilne są nowością w polskim systemie elektroenergetycznym. Dopiero po 2004 r., na skutek przystąpienia Polski do UE i związanych z tym zobowiązań (dyrektywa 2001/77/WE [19]), w strukturze mocy zainstalowanej pojawiać zaczęły się źródła pogodowo niestabilne.



Rys. 18. Wartości wskaźnika zwrotu energii zainwestowanej (EROI) dla różnych technologii przetwarzania energii [18]



Rys. 19. Moc zainstalowana i liczba koncesjonowanych instalacji wiatrowych w Polsce w podziale na województwa, rok 2013 [18]

Rozmieszczenie generacji pogodowo niestabilnych na terenie Polski nie jest równomierne (rys. 19).

W przypadku energetyki wiatrowej mamy do czynienia z największą ilością inwestycji w Polsce północno-zachodniej. Na tym obszarze występują głównie duże farmy wiatrowe.

W województwach Polski środkowej (kujawsko-pomorskie, łódzkie, mazowieckie) większy udział mają mniejsze projekty wiatrowe, powstające często w oparciu o turbiny używane.

Przy obecnym poziomie technicznym korzysta się z tej części ciepła, którego nośnikiem są wody lub pary wodne, transportujące je z wnętrza Ziemi na powierzchnię. Źłoże geotermalne stanowiące nagromadzenia ciepła Ziemi w postaci wód i par wodnych występują na głębokościach umożliwiającich ich opłacalną ekonomicznie i możliwą technicznie eksploatację za pomocą otworów wiertniczych. Głębokości te wynoszą od kilkuset metrów do 3–4 kilometrów. Polska, mimo że leży poza obszarami wulkanicznymi, ma bogate zasoby energii geotermalnej (rys. 20).



Rys. 20. Mapa okęgów i zakładów geotermalnych w Polsce: 1 – istniejących; 2 – planowanych; 3 – uzdrowiska [20]

Generalnie jako perspektywiczne wykorzystanie energii geotermalnej uważa się te kompleksy geologiczne, których wody geotermalne cechuje duża wydajność, wysoka temperatura oraz zaleganie na głębokościach nie przekraczających 3 kilometrów.

Praktycznym przykładem wykorzystania OZE jest m.in. rynek technologii odnawialnych źródeł ciepła dla gospodarstw domowych [21].

Tak zwane „zielone ciepło” z OZE (odnawialnych źródeł energii) w budownictwie rozwija się dzięki wsparciu legislacyjnemu zawartemu w dyrektywach Unii Europejskiej:

- Dyrektywa 2009/28/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dn. 23 kwietnia 2009 r. dotycząca promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych (Polska 15% energii z OZE do 2020 r. [22].
- Dyrektywa EPBD (Energy Performance of Buildings Directive) przekształcenie (*recast*) dyrektywy 2010/31/WE dotyczącej charakterystyki energetycznej budynków, zachęca do stosowania w nowych budynkach urządzeń korzystających z OZE (celem jest, aby od 31 grudnia 2020 r. wszystkie nowo powstające budynki były obiektami „o niemal zerowym zużyciu energii”. W przypadku budynków instytucji publicznych już od 31 grudnia 2018 r.) [23].
- Dyrektywa 2012/27/WE odnosząca się do efektywności energetycznej, nacisk kładzie na działania mające na celu obniżenie o 20% zużycia nieodnawialnej energii pierwotnej w Unii do 2020 r. [24].
- Dyrektywa dotycząca ekoprojektowania ErP (*energy related products* – produkty związane z energią) narzuca wprowadzenie oznakowania energetycznego (*ErP compliant*) [25].

W tabeli 3 przedstawiono wykaz działających i planowanych mikrobiogazowni na terenie Polski.

Opłacalność wytwarzania ciepła z OZE w gospodarstwach domowych ilustruje poniższy rysunek (rys. 21). W przedstawionym zestawieniu widać wyraźnie, że wśród OZE wykorzystywanych do produkcji ciepła najlepszym wskaźnikiem ekonomicznym charakteryzuje się biomasa.

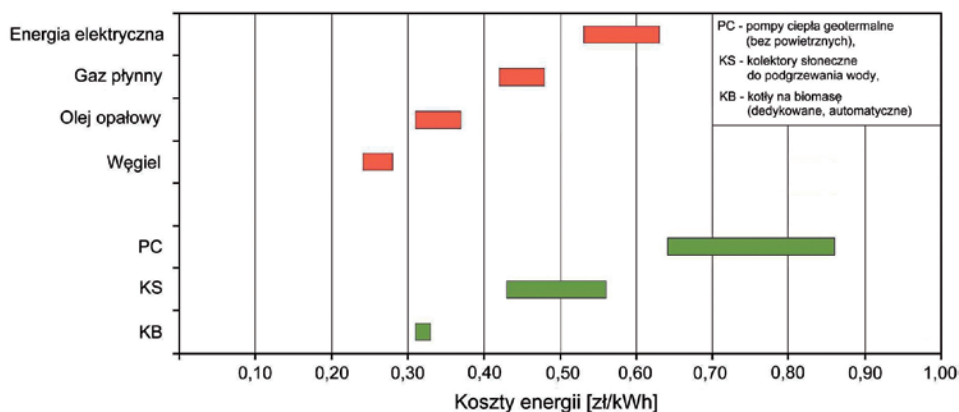
Optymistyczne perspektywy zwiększenia udziału ciepła z OZE w gospodarstwach domowych do 2050 r. przedstawiono na rys. 22.

Konwersja biomasy do paliw realizowana jest w wyniku trzech podstawowych procesów (rys. 23):

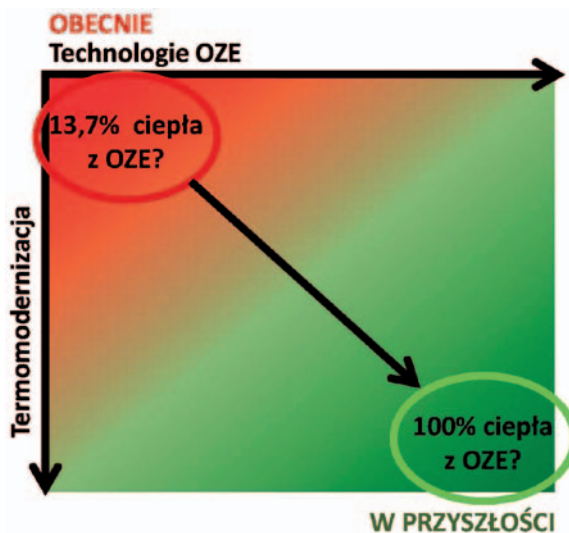
- gazyfikacji (etapem pośrednim są syntezy węglowodorów lub alkoholu);
- krakingu katalitycznego;
- hydrowy rafinacji.

Tabela 3. Małoskalowe biogazownie o mocy do 100 kW: aktualnie 14 inwestycji, głównie instalacji badawczych i pilotażowych [21]

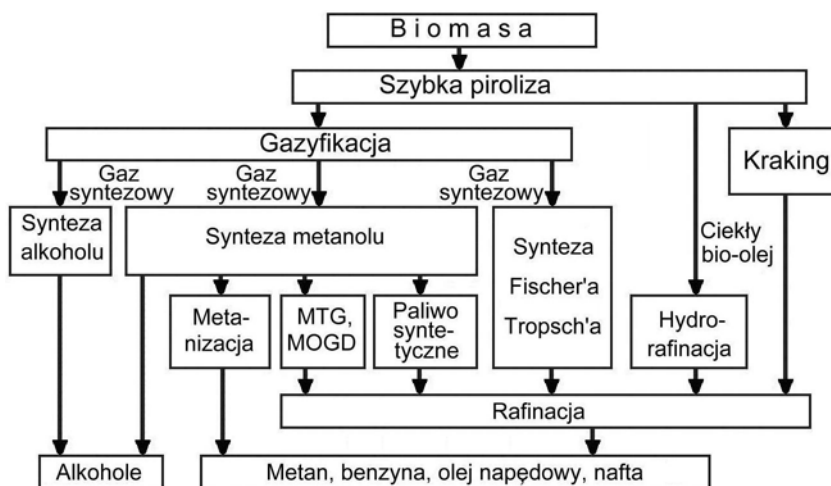
Województwo	Gmina	Miejscowość	Moc (MW)	Stan projektu
Kujawsko-pomorskie	Wąpielsk	Długie	0,075	Działająca
Lubelskie	Adamów	Szewnia Dolna	0,030	Działająca
Lubelskie	Bełżyce	Bełżyce Rolne	0,020	Działająca
Podlaskie	Bielsk Podlaski	Hryniewicze Duże	0,040	Planowana
Podlaskie	Sokoły	Krzyżewo	0,040	Planowana
Pomorskie	Nowa Karczma	Lubań	0,010	Działająca
Śląskie	Toszek	Proboszczowice	0,008	Działająca
Śląskie	Katowice	Katowice	0,024	Działająca
Opolskie	Pawłowiczki	Urbanowice	0,010	Działająca
Śląskie	Pszczyna	Studzionka	0,030	Działająca
Śląskie	Pszczyna	Wisła Mała	0,030	Działająca
Śląskie	Koszęcin	Nowy Dwór/Cieszowa	0,020	Działająca
Warmińsko-mazurskie	Purda	Bałdy	0,008	Działająca
Warmińsko-mazurskie	Elbląg	Klepa	0,100	Planowana



Rys. 21. Koszty produkcji ciepła z mikroinstalacji OZE na tle energetyki konwencjonalnej [21]



Rys. 22. Perspektywy zwiększenia udziału ciepła z OZE w gospodarstwach domowych do roku 2050 [21]

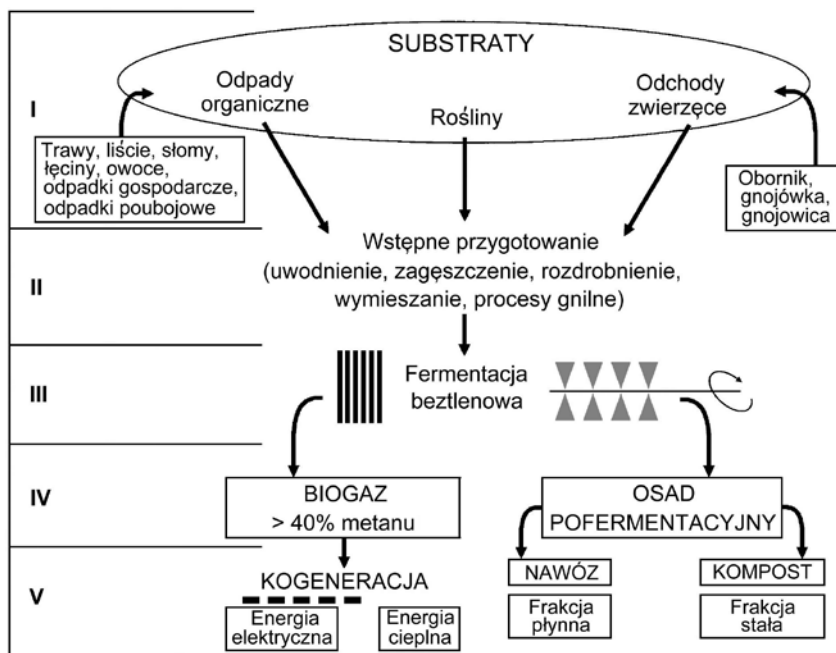


Rys. 23. Unowocześnienie konwersji biooleju do paliw i związków chemicznych (MTG – *metanol to gasoline*, konwersja metanolu do benzyny; MOGD – *methanol to gasoline and diesel*, konwersja metanolu do benzyny i oleju napędowego) [26]

Fermentacja beztlenowa jest procesem biochemicznym zachodzącym w warunkach beztlenowych. Materia organiczna jest rozkładana przez bakterie na związki proste, głównie CH_4 i CO_2 . W procesie fermentacji beztlenowej do 80% materii organicznej przekształca się w biogaz.

Biogazownia rolnicza wytwarzająca metan realizuje pięć faz procesu technologicznego (rys. 24):

- dostarczanie, składowanie i przygotowanie substratów;
- wprowadzanie substratów do komory fermentacyjnej;
- uzyskiwanie biogazu;
- uzdatnianie i zagospodarowanie odpadów pofermentacyjnych;
- uzdatnianie i wykorzystanie biogazu.



Rys. 24. Schemat przebiegu produkcji biogazu w biogazowni rolniczej [27]

W ostatniej fazie przedstawionego procesu technologicznego występuje zjawisko kogeneracji (w przypadku biogazowni rolniczej powinno się mówić raczej o mikrokogeneracji), określane również jako skojarzona gospodarka energetyczna lub CHP (*combined heat and power* – skojarzone wytwarzanie ciepła i elektryczności). Jest to proces technologiczny jednoczesnego wytwarzania energii elektrycznej i użytkowego ciepła.

Szczegółowy opis procesu oraz kierunki wykorzystania biogazu rolniczego zamieszczone są w cytowanej literaturze [26].

Składowisko odpadów komunalnych jest „bioreaktorem”, w którym podczas procesów biochemicznych zachodzi przemiana materii organicznej skutkująca wytwarzaniem gazu składowiskowego (mieszaniny głównie CH_4 , CO_2 oraz N_2). Skład biogazu wytwarzanego z materii organicznej deponowanej na składowisku odpadów komunalnych zmienia się w szerokim zakresie, zarówno podczas jego eksploatacji (deponowania odpadów), jak i po zakończeniu składowania i przeprowadzeniu rekultywacji składowiska. Zmienna jest również intensywność wytwarzania gazu. Jest ona bowiem zależna od czasu, który upłynął od momentu zdeponowania odpadów na składowisku. Skład biogazu oraz intensywność jego wytwarzania decydują o możliwości prawidłowego i efektywnego zagospodarowania potencjału energetycznego składowiska.

Wykorzystanie gazu składowiskowego do wytwarzania energii elektrycznej to nadal najpopularniejszy w Polsce sposób jego zagospodarowania; ponad 90% przedsięwzięć energetycznego wykorzystania gazu składowiskowego ma taki właśnie cel [28]. Spowodowane to jest lokalizacją składowisk w znacznych odległościach od potencjalnych odbiorców energii cieplnej. W tabeli 4 przedstawiono podział terytorialny instalacji energetycznego zagospodarowania gazu składowiskowego w Polsce.

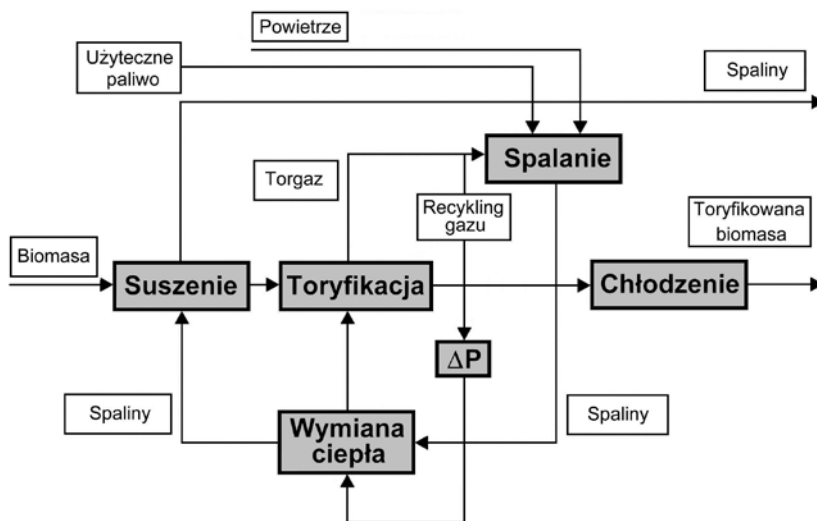
Analizując sytuację energetycznego zagospodarowania gazu składowiskowego w Polsce w ostatnich latach można powiedzieć, że rynek jest już praktycznie nasycony. Składowiska, których parametry pozwalały na rozpoczęcie projektów polegających na wytwarzaniu energii z gazu składowiskowego zostały już zagospodarowane. Ze względu na zmianę systemu gospodarowania odpadami komunalnymi zmniejszyła się ilość odpadów biodegradowalnych (materii organicznej) deponowanej na składowiskach [28].

Toryfikacja (*torrefaction*) jest metodą termicznej konwersji biomasy w temperaturze 200–300°C pod ciśnieniem atmosferycznym bez dostępu tlenu. Toryfikację stosuje się w celu poprawy własności biomasy kierowanej do innych procesów termicznych, takich jak zgazowanie czy współspalanie (rys. 25).

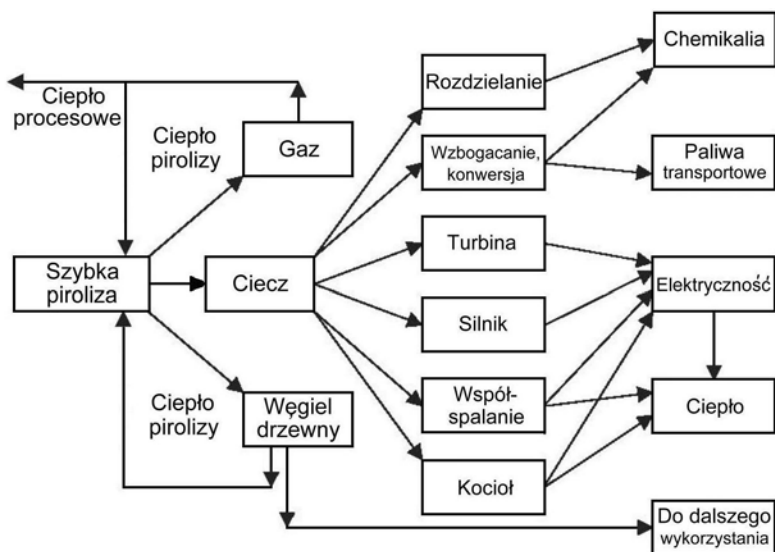
Przetwarzanie biomasy do produktów w fazie ciekłej (w wyniku szybkiej pirolizy), w lub w pobliżu miejsca jej występowania ogranicza koszty transportu oraz problemy związane z ochroną środowiska (powstający bioolej ma gęstość 1,2 kg/m³, czyli średnio około 8 razy większą niż wykorzystywany surowiec) [26]. Kierunki wykorzystania biooleju, powstałego w wyniku szybkiej pirolizy biomasy, przedstawiono na rys. 26.

Tabela 4. Ilość i moc instalacji energetycznego wykorzystania gazu składowiskowego w Polsce (dane: marzec 2014 r.) [28]

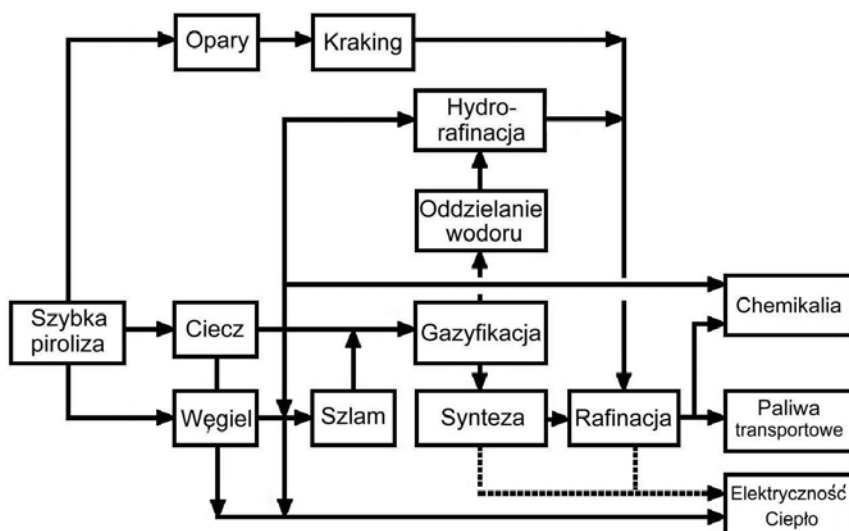
Lp.	Województwo	Liczba instalacji	Moc [MW]
1	Dolnośląskie	9	7,389
2	Kujawsko-pomorskie	7	3,743
3	Lubelskie	1	0,5
4	Lubuskie	1	0,5
5	Łódzkie	5	4,147
6	Małopolskie	6	2,928
7	Mazowieckie	24	12,046
8	Opolskie	2	0,453
9	Podkarpackie	3	1,806
10	Podlaskie	1	0,7
11	Pomorskie	5	4,157
12	Śląskie	15	12,82
13	Świętokrzyskie	1	0,36
14	Warmińsko-mazurskie	3	1,514
15	Wielkopolskie	10	6,062
16	Zachodniopomorskie	10	3,769
	Razem	103	62,894



Rys. 25. Schemat procesu toryfikacji biomasy [20]



Rys. 26. Zastosowania produktów powstałych w wyniku szybkiej pirolizy biomasy [26]



Rys. 27. Schemat procesu szybkiej pirolizy w biorafinerii [25]

Większość chemikaliów jest produkowana z surowców ropopochodnych. Alternatywnym rozwiązaniem jest wykorzystanie biomasy, zarówno do produkcji paliw, jak i chemikaliów (rys. 27) [29, 30]. Biomasa jest tylko jednym z możliwych źródeł energii odnawialnej, ale mając na uwadze produkcję chemikaliów, to wśród odnawialnych źródeł energii jest jedynym, realnym źródłem węgla.

Biogaz jest produktem fermentacji beztlenowej biomasy, czyli osadów ściekowych, odchodów zwierzęcych, odpadów rolno-spożywczych lub roślin energetycznych (np. kukurydzy, trawy, buraków cukrowych). Jego głównym składnikiem jest CH_4 (50÷70%) i CO_2 (30÷50%); w mniejszych ilościach zawiera siarkowodór, amoniak, merkaptany, wodę (w postaci pary wodnej) oraz niewielkie ilości azotu, tlenu i wodoru. Potencjał surowcowy do produkcji biogazu w Polsce – biorąc pod uwagę rolnictwo, przemysł spożywczy, oczyszczalnie ścieków i składowiska odpadów komunalnych – jest ogromny. Szacuje się go na poziomie 187 PJ (PJ – peta dżul, 1 PJ = 10^{15} J), co odpowiada wielkości 36% krajowego, rocznego zapotrzebowania na gaz ziemny [31].

Oczyszczony biogaz może być wykorzystany do produkcji energii elektrycznej i ciepła.

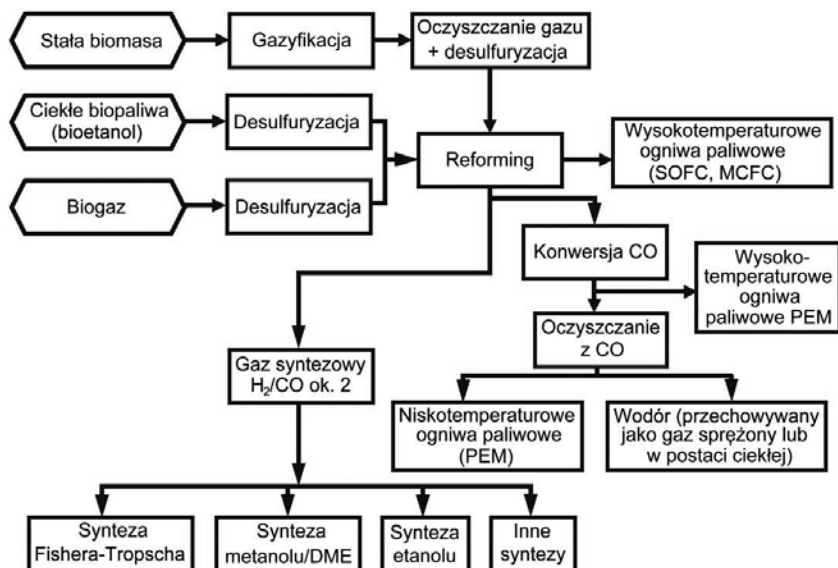
Aby uzyskać paliwo gazowe mogące zasilić pojazdy silnikowe lub sieć gazową, biogaz musi zostać poddany procesom oczyszczania i uzdatniania. W wyniku procesu oczyszczania biogaz pozbawiany jest H_2S i innych zanieczyszczeń zawartych w surowym gazie. Proces uzdatniania polega na wzbogaceniu biogazu w CH_4 przez usunięcie CO_2 . W wyniku uzdatniania, a następnie sprężania otrzymujemy biometan (*compressed biomethane* – CBM), odpowiadający jakością i składem chemicznym paliwu, jakim jest gaz ziemny (*compressed natural gas* – CNG). Obydwa te paliwa: gaz ziemny i biometan mogą być zamiennie wykorzystywane do zasilania sieci gazowej lub pojazdów silnikowych. Paliwo CBM może być również mieszane z paliwem CNG. Porównanie wybranych parametrów biogazu, biometanu i gazu ziemnego przedstawiono w tabeli 5.

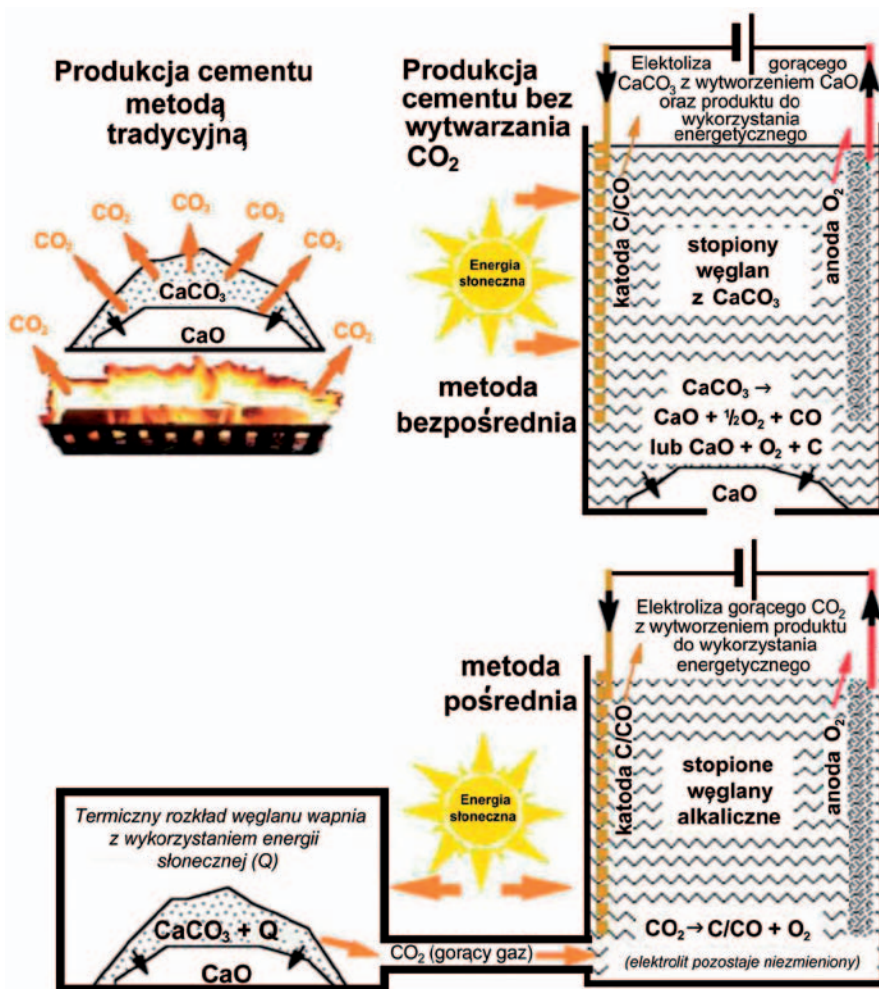
Biogaz oczyszczony i uzdatniony do postaci biometanu może być wtłaczany do sieci gazowej, jak również wykorzystany jako paliwo transportowe CBM, LBM (*liquefied biomethane*) lub po przetworzeniu może zasilać ogniwa paliwowe (rys. 28).

Ciekawą propozycję wykorzystania energii słonecznej do produkcji przemysłowej zaprezentowali autorzy prac [32, 33]. W proponowanym rozwiązaniu, oprócz zastosowania OZE istotny jest również przedstawiony aspekt wyeliminowania emisji CO_2 pochodzącego z reakcji termicznej konwersji węglanów (rys. 29).

Tabela 5. Porównanie wybranych składowych i parametrów biogazu, biometanu i gazu ziemnego [31]

Lp.	Składowa	Biogaz	Biometan	Gaz ziemny
1	CH ₄	45–75%	94–99%	93–98%
2	CO ₂	28–45%	0,1–4%	1%
3	N ₂	< 3%	< 3%	1%
4	O ₂	< 2%	< 1%	–
5	H ₂	Ilości śladowe	Ilości śladowe	–
6	H ₂ S	< 10 ppm	< 10 ppm	–
7	NH ₃	Ilości śladowe	Ilości śladowe	–
8	Wartość kaloryczna	5,5–7,7 kWh/m ³	10,2–10,9 kWh/m ³	9–11 kWh/m ³

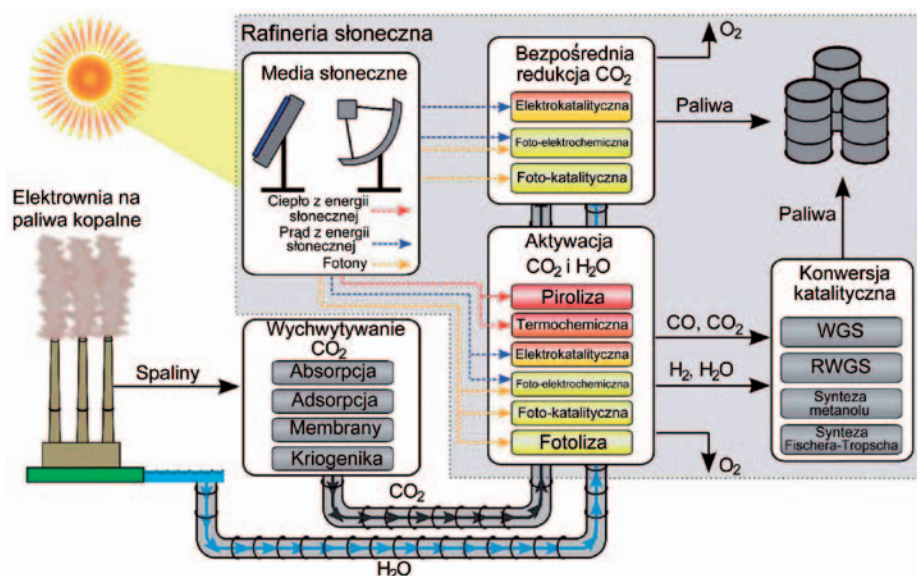
Rys. 28. Kierunki wykorzystania bioproduktów do syntez chemicznych oraz produkcji wodoru do ogniw paliwowych (DME – *dimethyl ether*, eter dimetylowy; MCFC – *molten carbonate fuel cell*; PEM – *polimer electrolyte membrane*; SOFC – *solid oxide fuel cell*)



Rys. 29. Schemat przedstawiający ideę wykorzystania energii słonecznej do produkcji wapna palonego bez emisji CO_2 [32]

Kolejnym rozwiązaniem jest propozycja rafinerii słonecznej (rys. 30) [34].

Surowce (CO_2 , H_2O i energia słoneczna) są wychwytywane na miejscu i/ lub dostarczane do rafinerii słonecznej. Energia słoneczna z wykorzystaniem odpowiednich mediów dostarczana jest w postaci ciepła, prądu elektrycznego lub fotonów, które następnie są wykorzystywane w rafinerii słonecznej do konwersji CO_2 i H_2O do paliw. Konwersja dwutlenku węgla i pary wodnej do paliw przebiega w dwóch głównych kierunkach:



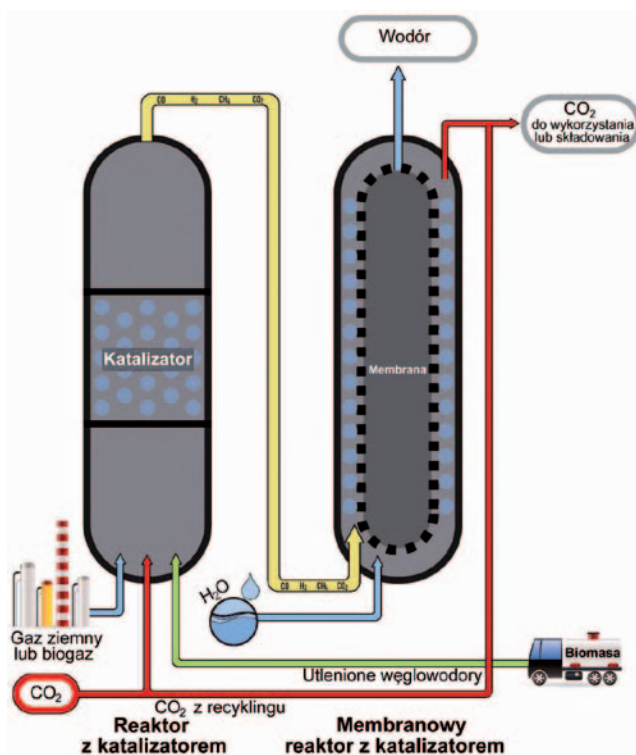
Rys. 30. Schemat produkcji paliw z wykorzystaniem energii słonecznej (WGS – *water gas shift*, konwersja tlenku węgla z parą wodną; RWGS – *reverse water gas shift*, odwrócona konwersja tlenku węgla – reakcja konwersji CO₂ z wodorem) [34]

- bezpośrednia redukcja CO₂ przez H₂O wspomagana energią słoneczną;
- aktywacja energią słoneczną mieszanki CO₂/H₂O do CO/H₂, a następnie konwersja katalityczna na drodze tradycyjnych procesów (WGS, RWGS, synteza metanolu, synteza Fischera-Tropscha).

Tematykę wykorzystania energii słonecznej do produkcji paliw poruszano już wcześniej [35, 36].

Na jednym z uniwersytetów kanadyjskich (University of Regina) zbudowano instalację pilotażową do produkcji wodoru, m.in. z wykorzystaniem biogazu (rys. 31)

Ponieważ alternatywne i bezpieczne dla środowiska źródła pozyskiwania energii, jak na przykład wykorzystanie światła słonecznego, siły wiatru oraz prądów morskich, nie są w stanie zaspokoić ogromnego zapotrzebowania, a energia atomowa w dalszym ciągu wzbudza wiele kontrowersji, jednym z możliwych scenariuszy działania jest „wychwytywanie” (*capturing*) CO₂ pochodzącego ze źródeł antropogenicznych i zapobieganie jego przedostawaniu się do atmosfery [38, 39]. Nagromadzony w ten sposób gaz może być następnie przechowywany bądź też wykorzystywany na drodze chemicznej oraz biochemicznej [40–60].



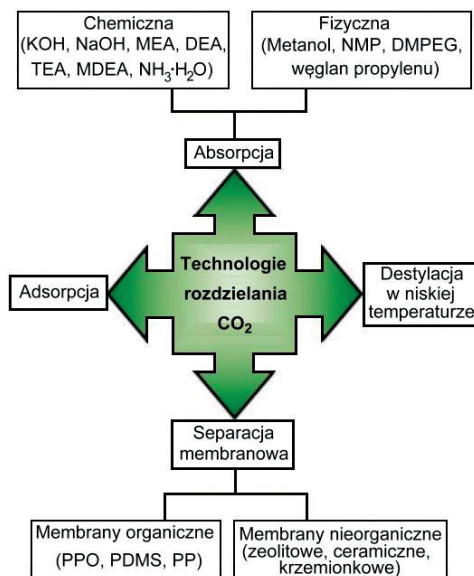
Rys. 31. Instalacja pilotażowa do produkcji wodoru z wykorzystaniem biogazu [37]

Na poniższym rysunku (rys. 32) przedstawiono dostępne technologie oddzielania CO_2 [61, 62].

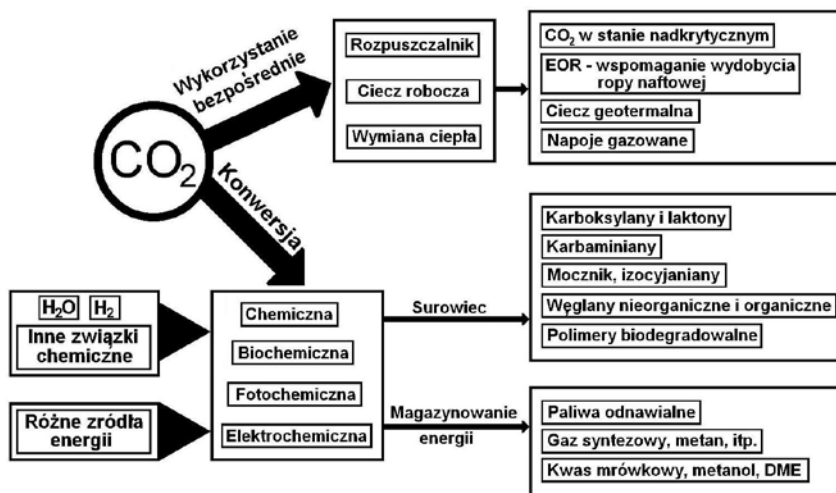
Główne cele w obszarze wykorzystania CO_2 obejmują identyfikację obiecujących technologii utylizacji dwutlenku węgla z potencjałem do wytworzenia produktów przy ekonomicznie uzasadnionych kosztach oraz oszacowanie barier technicznych i handlowych wykorzystania tego związku jako surowca. Obecnie istnieją trzy główne kierunki wykorzystania CO_2 (rys. 33) jako [40–66]:

- nośnik energii odnawialnej;
- surowiec do produkcji różnych chemikaliów;
- rozpuszczalnik lub ciecz robocza.

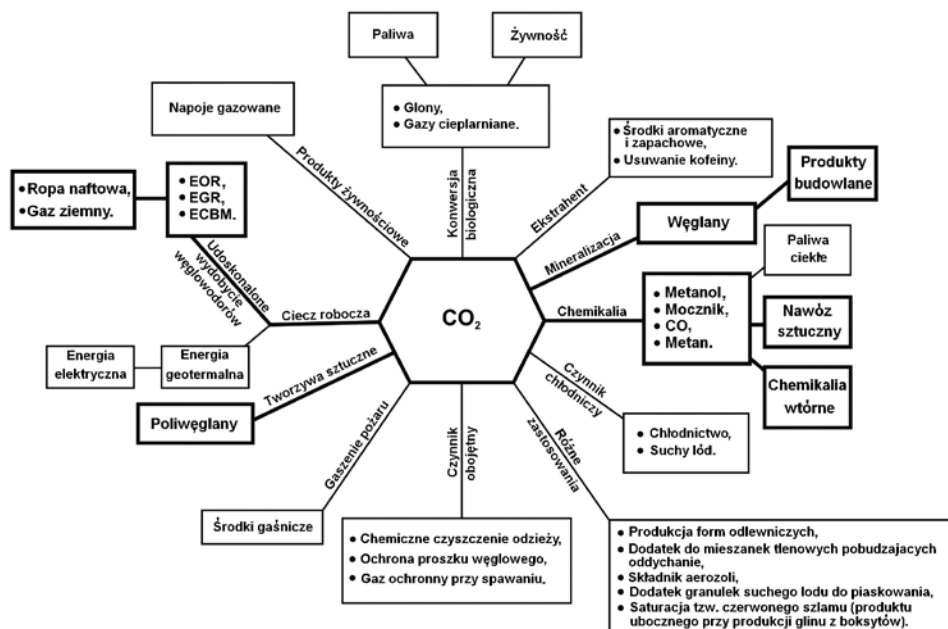
Aktualne wykorzystanie komercyjne dwutlenku węgla w skali światowej szacowane jest na około 200 Mton/rok (rys. 34). Największe ilości CO_2 zużywane są do produkcji mocznika i procesu wspomaganego wydobycia ropy naftowej (*enhanced oil recovery* – EOR).



Rys. 32. Dostępne technologie oddzielania CO_2 (MEA – *monoethanolamine*, monoetanolamina; DEA – *diethanolamine*, dietanolamina; TEA – *triethanolamine*, trietanolamina; MDEA – *methyl diethanolamine*, metyldietanolamina; NMP – *N-methyl-2-pyrrolidone*, N-metylo-2-pirolidon; DMPEG – *dimethyl ethers of polyethylene glycol*, etery dimetylowe glikolu polietylenowego; PPO – *poly(phenylene oxide)*, polioksyfenylen; PDMS – *poly(dimethyl siloxane)*, poli(dimetylosiloksan); PP – *polypropylene*, polipropylen) [61]



Rys. 33. Różne kierunki wykorzystania CO_2 [67]



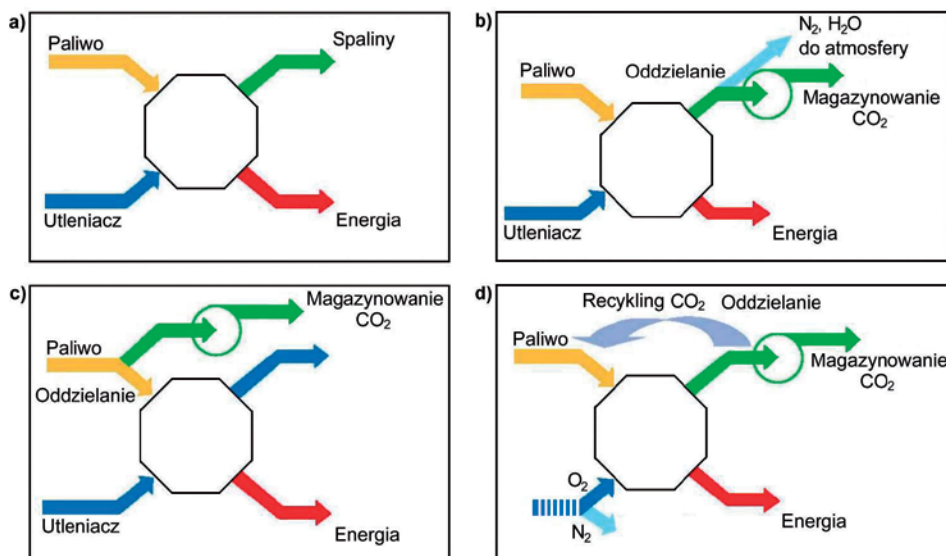
Rys. 34. Schematyczne przedstawienie kierunków wykorzystania CO_2 [63]

Technologia EGS (*enhanced geothermal systems*), znana również jako HFR (*hot fractured rocks*) lub HDR (*hot dry rocks*) należy do nowych procesów wykorzystujących CO_2 , dzięki którym możliwe jest pozyskanie energii geotermalnej z podziemnych gorących skał. Obecnie realizowane jest nowe podejście istniejącej koncepcji (wykorzystującej wodę lub solanki) oparte na zastosowaniu dwutlenku węgla w stanie nadkrytycznym jako medium wymiany ciepła, ze względu na skuteczniejsze przenoszenie ciepła w warunkach geologicznych [68].

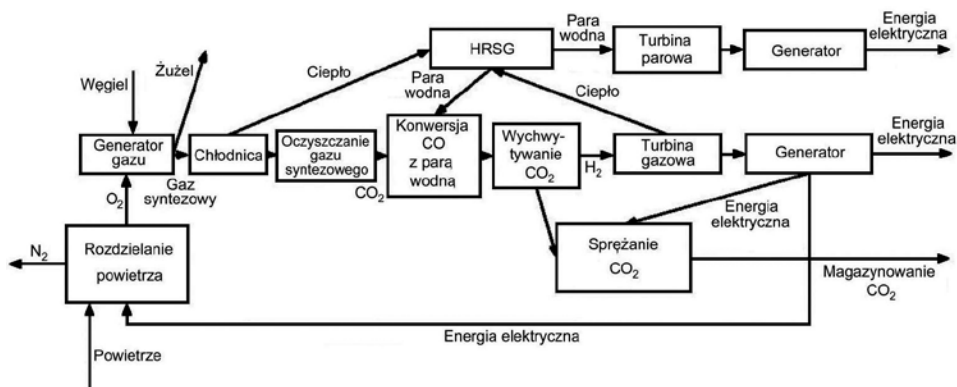
W elektrowniach węglowych istnieją trzy główne kategorie technologii wychwytywania CO_2 : przed spalaniem węgla, w trakcie spalania węgla przy wysokim stężeniu tlenu i po spalaniu węgla (rys. 35) [69–71].

W pierwszym rozwiązaniu dwutlenek węgla jest oddzielany i gromadzony przed spalaniem paliwa (rys. 36). Jednym z praktycznych rozwiązań tej technologii jest proces IGCC (*integrated gasification combined cycle*), technologia bloku gazowo-parowego ze zintegrowanym zgazowaniem paliwa [69, 70].

Spalanie węgla przy wysokim stężeniu tlenu (poprzez zmniejszenie stężenia azotu w powietrzu) prowadzi do zwiększenia stężenia CO_2 w spalinach [71, 72]. W praktyce spalanie węgla zachodzi w czystym tlenie (rys. 37).

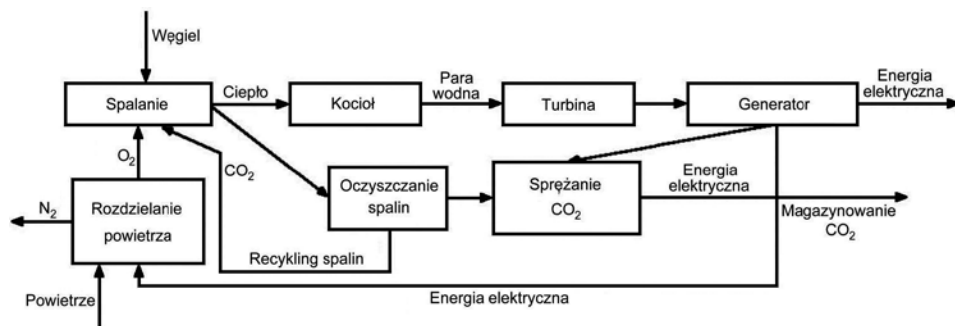


Rys. 35. Schemat wytwarzania energii z paliw kopalnych: a) metoda tradycyjna; b) po spaleniu wychwytywanie i magazynowanie CO₂; c) wychwytywanie i magazynowanie CO₂ przed spalaniem paliwa; d) spalanie przy wysokim stężeniu tlenu z jednoczesnym wychwytywaniem, magazynowaniem i recyklingiem CO₂ [64]



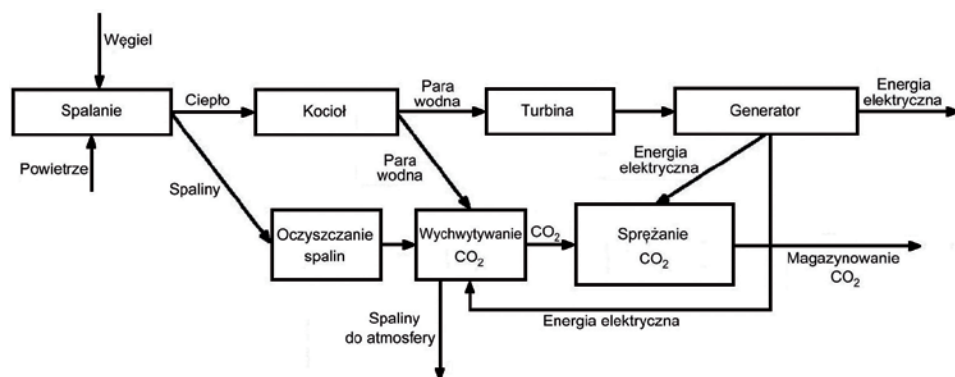
Rys. 36. Ogólny zarys wstępnego wychwytywania CO₂ w elektrowni węglowej (HRSG – *heat recovery steam generator* – odzyskiwanie ciepła z generatora pary wodnej; kocioł odzyskowy) [71]

Część wytworzonej energii elektrycznej wykorzystywana jest do sprężania CO_2 , instalacji rozdzielania powietrza (*air separation unit* – ASU) oraz zasilania urządzeń pomocniczych (np. pomp). Około 70% spalin, zawierających głównie CO_2 i parę wodną, jest zawracanych do spalania. Takie rozwiązanie zapewnia kontrolę temperatury spalania oraz zabezpiecza przed uszkodzeniem wymienniki ciepła oraz inne elementy instalacji.



Rys. 37. Ogólny zarys spalania węgla w elektrowni przy wysokim stężeniu tlenu z jednoczesnym wychwytywaniem CO_2 [71]

W kolejnym rozwiązaniu oczyszczanie spalin i wychwytywanie CO_2 realizowane jest po procesie spalania (rys. 38).

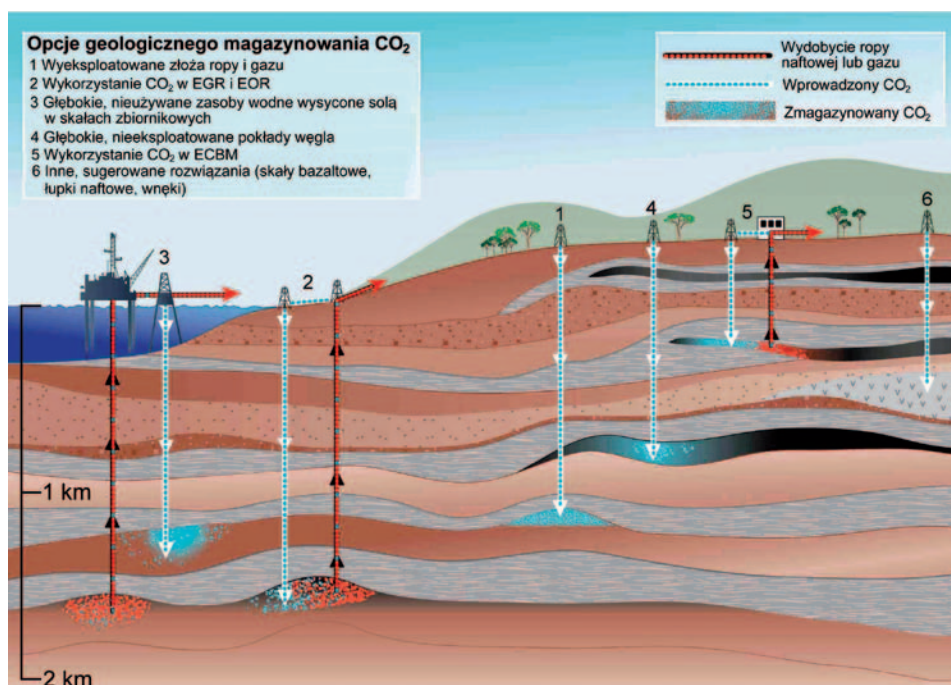


Rys. 38. Ogólny zarys wychwytywania CO_2 po spalaniu węgla w elektrowni [71]

Na rys. 36–38 przedstawiono najważniejsze składowe elektrowni oraz kierunki przepływu energii elektrycznej, pary wodnej oraz gazów [70, 71].

W dobie szczególnego zainteresowania niekonwencjonalnymi złożami węglowodorów nie można nie doceniać dotychczas odkrytych, kosztem

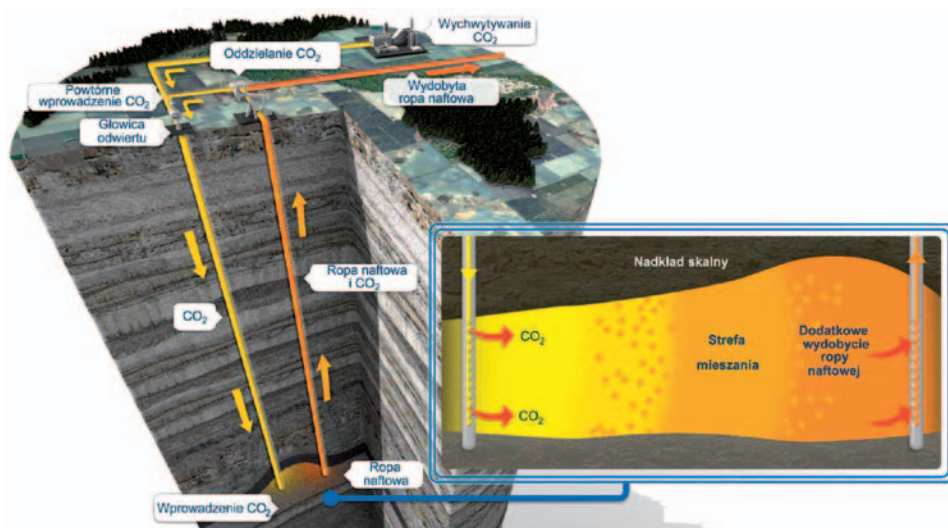
ogromnych nakładów, konwencjonalnych zasobów ropy naftowej. Eksploatacja tych złóż jest racjonalna i efektywna szczególnie wówczas, gdy wdrożone zostaną odpowiednie dla istniejących warunków złożowych metody wspomagania wydobycia (np. wspomaganie wydobycia ropy naftowej, *enhanced oil recovery* – EOR) (rys. 39).



Rys. 39. Schemat przedstawiający możliwe opcje składowania CO₂ w pokładach geologicznych (EGR – *enhanced gas recovery*, wspomaganie wydobycia gazu ziemnego; EOR – *enhanced oil recovery*, wspomaganie wydobycia ropy naftowej; ECBM – *enhanced coal bed methane*, wspomaganie odzysku metanu z pokładów węgla) [73]

Zastosowanie jedynie tzw. pierwszych metod eksploatacji, wykorzystujących tylko energię złoża ropy naftowej, pozwala uzyskać niewielki stopień szczypania pierwotnych zasobów geologicznych. Dopiero wdrożenie metod wspomagających, wykorzystujących wypieranie ropy energią i mediami zewnętrznymi, może w efekcie pozwolić na efektywne i zgodne z zasadami sztuki górniczej szczypanie odkrytych zasobów ropy naftowej (rys. 40).

Źródłem dwutlenku węgla w procesie CO₂-EOR mogą być zarówno zasoby naturalne, jak i gazy pochodzące z produkcji gazu syntezowego, nawozów, cementu, a także elektrownie węglowe i gazowe. Wykorzystanie odzyskane-



Rys. 40. Schemat przedstawiający wspomaganie wydobywania ropy naftowej z wykorzystaniem CO₂

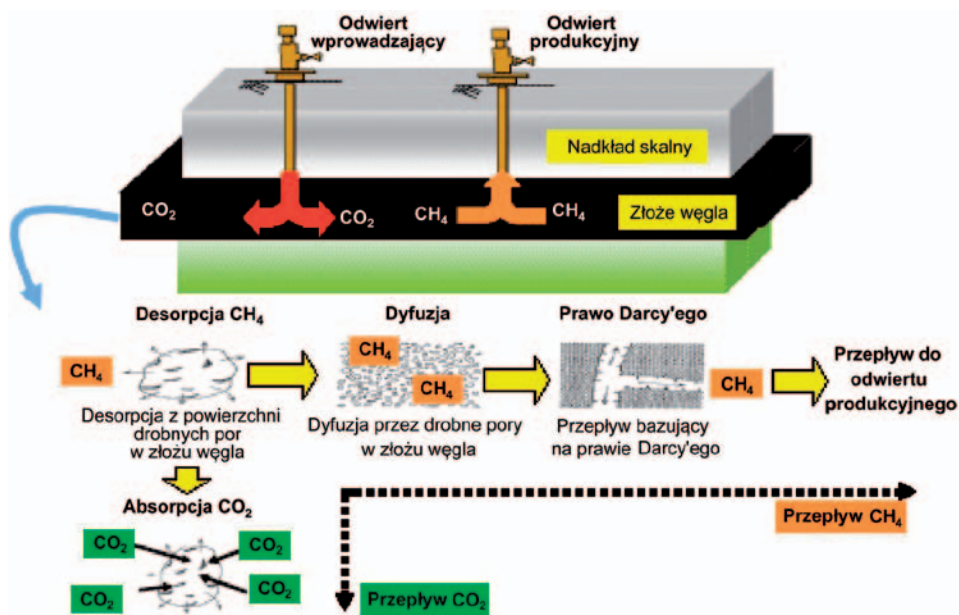
go CO₂ wymaga jednak odpowiedniej infrastruktury związanej z zastosowaniem obszernej infrastruktury umożliwiających gromadzenie oraz dystrybucję CO₂, a także użycia skutecznych systemów separacji gazu.

W przypadku złóż gazu ziemnego zastosowanie metod wspomagających (*enhanced gas recovery* – EGR) nie jest tak istotne, gdyż stopień szczypania pierwotnych zasobów geologicznych metodami pierwszymi osiąga wartość do 90%. Zastosowanie metod wspomaganie wydobywania w przypadku złóż ropy naftowej może pozwolić nawet na jego dwukrotne zwiększenie [74].

Dwutlenek węgla stosowany jest do procesów wspomaganie wydobywania metanu z częściowo wyczerpanych pokładów węgla (*enhanced coal bed methane recovery* – ECBM). Jest to technologia obecnie rozwijana i testowana w skali pilotażowej (rys. 41).

Wadą technologii jest słaba porowatość pokładów węgla i ograniczona pojemność w procesie długotrwałego składowania CO₂. ECBM ma szansę być rentowna pod warunkiem eliminacji barier technologicznych, jak również w przypadku zapewnienia odpowiednich uwarunkowań rynkowych (cena gazu ziemnego, węgla).

Światowa Komisja ds. Środowiska i Rozwoju (The World Commission on Environment and Development), zwana też Komisją Brundtland, powołana w 1983 r. przez Gro Harlem Brundtland na zaproszenie ówczesnego Sekretarza Generalnego ONZ (Javier Peréz de Cuéllar Guerry) opracowała koncepcję



Rys. 41. Schemat ilustrujący proces ECBM (*enhanced coal bed methane recovery*; Prawo Darcy'ego – fundamentalny wzór o charakterze fenomenologicznym, opisujący zależność między prędkością filtracji płynu przepływającego w ośrodku porowatym a występującym gradientem ciśnienia, stosowany m.in. w zakresie hydrodynamiki podziemnej)

polityczną zrównoważonego rozwoju (*sustainable development*) oraz opublikowała w kwietniu 1987 r. raport „Nasza Wspólna Przyszłość”.

Zrównoważony rozwój musi pogodzić trzy cele (rys. 42):

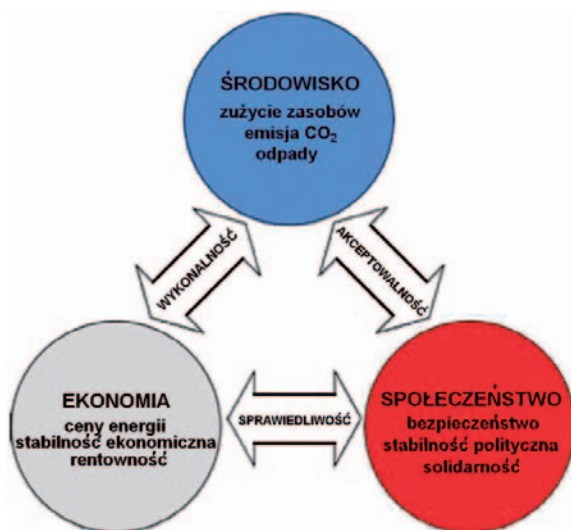
- ekonomiczny;
- środowiskowy;
- społeczny;

czyli tzw. 3E (*economy, environment, equity*).

Cel ekonomiczny wyraża się w zaspokajaniu podstawowych potrzeb materialnych ludzkości przy zastosowaniu techniki i technologii nieniszczących środowiska (np. OZE).

Cel środowiskowy ma powstrzymać degradację środowiska i eliminować zagrożenia (np. utylizacja i zagospodarowanie CO_2).

Natomiast cel społeczny powinien kształtować taki model stosunków społeczno-ekonomicznych, który pozwoliłyby na zrationalizowanie gospodarki zasobami Ziemi z uwzględnieniem zmian wywołanych w środowisku



Rys. 42. Wzajemne powiązanie celów na drodze do zrównoważonego rozwoju

przez działalność człowieka (np. działalność przemysłowa człowieka). Przykłady ilustrujące wzajemne powiązania celów zrównoważonego rozwoju zostały przedstawione w powyższym opracowaniu.

Istotnym wyzwaniem w najbliższej przyszłości będzie rozwój metod związanych z wykorzystaniem i konwersją CO_2 w kierunku użytecznych produktów (rys. 33, 34, 39–41), a także problematyka dotycząca składowania dwutlenku węgla [75]. Obecnie jedynymi miejscami składowania CO_2 w Europie są dwa obszary położone u wybrzeży Norwegii (tab. 6, rys. 43).

Tabela 6. Działające w Europie obszary magazynowania CO_2 [75]

Miejsce składowania	Kraj	Ilość magazynowanego CO_2 [Mt/rok]	Rok uruchomienia
Sleipner	Norwegia	1	1998
Snøhvit	Norwegia	0,7	2008

Na kontynencie europejskim, w ciągu pięciu kolejnych lat, przewidywane jest uruchomienie obszarów składowania CO_2 w kilku kolejnych krajach, w tym także w Polsce (okolice Bełchatowa) [75].



Rys. 43. Miejsca składowania CO₂ u wybrzeży Norwegii

Wykaz skrótów stosowanych w tekście

ASU	– <i>air separation unit</i> , instalacja rozdzielania powietrza
BEiŚ	– Strategia Bezpieczeństwo Energetyczne i Środowisko
BTK	– benzen, toluen, ksilen
CBM	– <i>compressed biomethane</i> , sprężony biometan
CHP	– <i>combined heat and power</i> , skojarzone wytwarzanie ciepła i elektryczności
CNG	– <i>compressed natural gas</i> , sprężony gaz ziemny
DEA	– <i>diethanolamine</i> , dietanoloamina
DME	– <i>dimethyl ether</i> , eter dimetylowy
DMPEG	– <i>dimethyl ethers of polyethylene glycol</i> , etery dimetylowe glikolu polietylenowego
DSRK	– Długookresowa Strategia Rozwoju Kraju
ECBM	– <i>enhanced coal bed methane</i> , wspomaganie odzysku metanu z pokładów węgla
EGR	– <i>enhanced gas recovery</i> , wspomaganie wydobywania gazu ziemnego
EGS	– <i>enhanced geothermal systems</i> , wzbudzone/wspomagane systemy geotermalne
EOR	– <i>enhanced oil recovery</i> , wspomaganie wydobywania ropy naftowej
EPBD	– <i>Energy Performance of Buildings Directive</i>
ErP	– <i>energy related products</i> , produkty związane z energią
EROI	– <i>energy return on investment</i> , wskaźnik zwrotu energii zainwestowanej
HDR	– <i>hot dry rocks</i> , energia geotermalna suchych skał
HFR	– <i>hot fractured rocks</i> , energia geotermalna w szczelinowanych gorących skał wodonośnych
HRSG	– <i>heat recovery steam generator</i> , odzyskiwanie ciepła z generatora pary wodnej; kocioł odzyskowy
IGCC	– <i>integrated gasification combined cycle</i> , technologia bloku gazowo-parowego ze zintegrowanym paliwem
LBM	– <i>liquefied biomethane</i> , skroplony biometan
MCFC	– <i>molten carbonate fuel cell</i> , ogniwo paliwowe ze stopionym węglanem
MDEA	– <i>methyl diethanolamine</i> , metyldietanoloamina
MEA	– <i>monoethanolamine</i> , monoetanoloamina
MOGD	– <i>methanol to gasoline and diesel</i> , konwersja metanolu do benzyny i oleju napędowego
MTG	– <i>methanol to gasoline</i> , konwersja metanolu do benzyny

NMP	– <i>N-methyl-2-pyrrolidone</i> , N-metylo-2-pirolidon
OZE	– Odnawialne Źródła Energii
PDMS	– <i>poly(dimethyl siloxane)</i> , poli(dimetylosiloksan)
PEM	– <i>polymer electrolyte membrane</i> , ogniwo paliwowe z membrana polimerową
PP	– <i>polypropylene</i> , polipropylen
PPO	– <i>poly(phenylene oxide)</i> , polioksyfenylen
RWGS	– <i>reverse water gas shift</i> , odwrócona konwersja tlenku węgla - reakcja konwersji CO ₂ z wodorem
SOFC	– <i>solid oxide fuel cell</i> , ogniwo paliwowe ze stałym tlenkiem
TEA	– <i>triethanoloamine</i> , trietanoloamina
UE	– Unia Europejska
WGS	– <i>water gas shift</i> , konwersja tlenku węgla z parą wodną
WWA	– wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne

Bibliografia

1. Kępka B.: Strategia rozwoju branży chemicznej – plan działania dla województwa zachodniopomorskiego. Eko Marketing, Warszawa 2010.
2. Koneczny H.: Podstawy technologii chemicznej. PWN, Warszawa 1973.
3. Muchlenow I.P., Kuzniecowa D.A., Awerbach A.J., Tumarkina J.S., Furmer I.E.: Ogólna technologia chemiczna. WNT, Warszawa 1974.
4. Ropuszyński S.: Chemia i technologia podstawowej syntezy organicznej. PWN, Warszawa 1983.
5. Bogoczek R., Kociołek-Balawajder E.: Technologia chemiczna organiczna. Surowce i półprodukty. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, Wrocław 1992.
6. Taniewski M.: Przemysłowa synteza organiczna. Kierunki rozwoju. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1999.
7. Technologia chemiczna – surowce. Pod red. M. Taniewskiego, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2000.
8. Grzywa E., Molenda J.: Technologia podstawowych syntez organicznych. Tom I, WNT, Warszawa 2000.
9. Technologia chemiczna organiczna – wybrane zagadnienia (pod red. E. Kociołek-Balawajder), Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław 2013.
10. Speight J.G.: Synthetic fuels handbook. Properties, process, and performance. Chapt. 5, McGraw-Hill Companies, Inc., 2008, pp 131–168.
11. Energetyczne wykorzystanie gazu składowiskowego w Polsce. Moc gazu składowiskowego. [w:] Raport Instytutu Nafty i Gazu – PIB w Krakowie. Rynek Polskiej Nafty i Gazu 2014, str. 12–13, 72.
12. Strategia bezpieczeństwa energetycznego i środowiska – perspektywa do 2020 r. Ministerstwo Gospodarki i Ministerstwo Środowiska, Warszawa 2014.
13. Polski sektor energetyczny. Raport gospodarczy. Stowarzyszenie Inwestorów Indywidualnych, 2014.

14. Armaroli N., Balzani V.: *Energy for a sustainable world. From oil age to a sun-powered future*. Wiley-VCH, Weinheim 2011.
15. Gawlikowska-Fyk A., Nowak Z.: *Raport energetyka jądrowa w Polsce*. Polski Instytut Spraw Międzynarodowych, Warszawa 2014.
16. Jabłoński W., Wnuk J.: *Zarządzanie odnawialnymi źródłami energii. Aspekty ekonomiczno-techniczne*. Oficyna Wydawnicza Humanista, Wyższa Szkoła Humanista w Sosnowcu, Sosnowiec 2009.
17. *Energia ze źródeł odnawialnych w 2013 r.*, Główny Urząd Statystyczny, Departament Produkcji, Materiał na konferencję prasową w dniu 28 listopada 2014 r.
18. Demaskowanie mitów: Obalanie mitów o energii odnawialnej, http://awsassets.wwf-pl.panda.org/downloads/wwfpolska_demaskowanie_mitow_klimatycznych.pdf (stan na 25.01.2015).
19. Dyrektywa 2001/77/WE (Dz. U. L 283 z 27.10.2001).
20. *Odnawialne źródła energii. Rolnicze surowce energetyczne*. Pod red. B. Kołodziej, M. Maćtyki. Powszechne Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Poznań 2012.
21. Wiśniewski G.: Potencjał wytwarzania ciepła z odnawialnych źródeł energii w gospodarstwach domowych – rynek, technologie, opłacalność. Ciepło ze źródeł odnawialnych – stan obecny i perspektywy rozwoju. Ministerstwo Gospodarki, Warszawa 9 grudnia 2014 r.
22. Dz. U. UE L 09.140.16.
23. Dz. U. UE L 18.6.2010.
24. Dz. U. UE L 14.11.2012.
25. Dz. U. UE L 327/2011.
26. Bridgwater A.V.: *Fast pyrolysis of biomass for energy and fuels*. [w:] Cocker M. (ed.): *Thermochemical conversion of biomass to liquid fuels and chemicals*. Chapt. 7. Royal Society of Chemistry, Cambridge 2010, pp 146–191.
27. *Biogaz rolniczy – odnawialne źródło energii. Teoria i praktyczne zastosowanie*. Pod red. W. Podkówki. Powszechne Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa 2012.
28. Klimek P., Kołodziejek G., Niemczewska J., Zaleska-Bartosch J.: *Energetyczne wykorzystanie gazu składowiskowego w Polsce. Moc gazu składowiskowego* [w:] *Raport Instytutu Nafty i Gazu – PIB w Krakowie. Rynek Polskiej Nafty i Gazu 2014*, str. 84–91.
29. Tekin K., Karagöz S., Bektaş S.: A review of hydrothermal biomass processing. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 2014; 40: 673–687.
30. Maity S.K.: Opportunities, recent trends and challenges of integrated biorefinery. Part I. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 2015; 43: 1427–1445.
31. Rejman-Burzyńska A., Krzemień J.: Biometan z biogazu. Nowy substytut gazu ziemnego. [w:] *Raport Instytutu Nafty i Gazu – PIB w Krakowie. Rynek Polskiej Nafty i Gazu 2013*, str. 98–103.
32. Licht S., Wu H., Hettige Ch., Wang B., Asercion J., Lau J., Stuart J.: STEP cement: solar thermal electrochemical production of CaO without CO₂ emission. *Chem. Commun.* 2012; 48: 6019–6021.
33. Licht S., Cui B., Wang B.: STEP carbon capture – the barium advantage. *J. CO₂ Util.* 2013; 2: 58–63.
34. Herron J.A., Kim J., Upadhye A.A., Huber G.W., Maravelias Ch.T.: A general framework for the assessment of solar fuel technologies. *Energy Environ. Sci.* 2015; 8: 126–157.
35. Kim J., Johnson T.A., Miller J.E., Stechel E.B., Maravelias Ch.T.: Fuel production from CO₂ using solar – thermal energy: system level analysis. *Energy Environ. Sci.* 2012; 5: 8417–8429.
36. Kim J., Henao C.A., Johnson T.A., Dedrick D.E., Miller J.E., Stechel E.B., Maravelias Ch.T.: Methanol production from CO₂ using solar-thermal energy: process development and techno-economic analysis. *Energy Environ. Sci.* 2011; 4: 3122–3132

37. <http://www.uregina.ca/engineering/news-events/news/articles/new-hydrogen-production-pilot-plant.html>
38. Masud M.M., Al-Amin A.Q., Akhtar R., Kari F., Afroz R., Rahman M.S., Rahman M.: Valuing climate protection by offsetting carbon emissions: rethinking environmental governance. *J. Cleaner Prod.* 2015; 89: 41–49.
39. Gao T, Shen L., Shen M., Chen F., Liu L., Gao L.: Analysis on differences of carbon dioxide emission from cement production and their major determinants. *J. Cleaner Prod.* 2014; 103: 160–170.
40. Zeiler K.G., Heacox D.A., Toon S.T., Kadam K.L., Brown L.M.: The use of microalgae for assimilation and utilization of carbon dioxide from fossil fuel-fired power plant flue gas. *Energ. Convers. Manage.* 1995; 36: 707–712.
41. Haugen H.A., Eide L.I.: CO₂ capture and disposal: the realism of large scale scenarios. *Energ. Convers. Manage.* 1996; 37: 1061–1066.
42. Turkenburg W.C.: Sustainable development, climate change, and carbon dioxide removal (CDR), *Energ. Convers. Manage.*, 38 (1997) S3-S12
43. T. Chohji, M. Tabata, E. Hirai, CO₂ recovery from flue gas by an ecotechnological (environmentally friendly) system. *Energy* 1997; 22: 151–159.
44. Bachu S.: Sequestration of CO₂ in geological media: criteria and approach for site selection in response to climate change. *Energ. Convers. Manage.* 2000; 41: 953–970.
45. Sanchez-Sanchez C.M., Montiel V., Tryk D.A., Aldaz A., Fujishima A.: Electrochemical approaches to alleviation of the problem of carbon dioxide accumulation. *Pure Appl. Chem.* 2001; 73: 1917–1927.
46. Li Ch.-F., Zhong S.-H.: Study on application of membrane reactor in direct synthesis DMC from CO₂ and CH₃OH over Cu–KF/MgSiO catalyst. *Catal. Today* 2003; 82: 83–90.
47. Beckman E.J.: Green chemical processing using CO₂. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2003; 42: 1598–1602.
48. Wang S., Zhu Z.H.: Catalytic conversion of alkanes to olefins by carbon dioxide oxidative dehydrogenation – a review, *Energy Fuels* 2004; 18: 1126–1139.
49. Petersen G., Viviani D., Magrini-Bair K., Kelley S., Moens L., Shepherd P., DuBois D.: Nongovernmental valorization of carbon dioxide. *Sci. Total Environ.* 2005; 338: 159–182.
50. Xu A., Indala S., Hertwig T.A., Pike R.W., Knopf F.C., Yaws C.L., Hopper J.R.: Development and integration of new processes consuming carbon dioxide in multi-plant chemical production complexes. *Clean Technol. Environ Policy* 2005; 7: 97–115.
51. Song Ch.: Global challenges and strategies for control, conversion and utilization of CO₂ for sustainable development involving energy, catalysis, adsorption and chemical processing. *Catal. Today* 2006; 115: 2–32.
52. Zevenhoven R., Eloneva S., Teir S.: Chemical fixation of CO₂ in carbonates: routes to valuable products and long-term storage. *Catal. Today* 2006; 115: 73–79.
53. Ansami M.B., Park S.-E.: Carbon dioxide utilization as a soft oxidant and promoter in catalysis. *Energy Environ. Sci.* 2012; 5: 9419–9437.
54. Centi G., Quadrelli E.A., Perathoner S.: Catalysis for CO₂ conversion: a key technology for rapid introduction of renewable energy in the value chain of chemical industries. *Energy Environ. Sci.* 2013; 6: 1711–1731.
55. Langanke J., Wolf A., Hofmann J., Böhm K., Subhani M.A., Müller T.E., Leitner W., Gürtler C.: Carbon dioxide (CO₂) as sustainable feedstock for polyurethane production. *Green Chem.* 2014; 16: 1865–1870.
56. Wu T., Zou L., Han D., Li F., Zhang Q., Niu L.: A carbon-based photocatalyst efficiently converts CO₂ to CH₄ and C₂H₂ under visible light. *Green Chem.* 2014; 16: 2142–2146.

57. He H., Qi Ch., Hu X., Guan Y., Jiang H.: Efficient synthesis of tertiary α -hydroxy ketones through CO_2 - promoted regioselective hydration of propargylic alcohols. *Green Chem.* 2014; 16: 3729–3733.
58. Wang J., Leong J., Zhang Y.: Efficient fixation of CO_2 into cyclic carbonates catalysed by silicon-based main chain poly-imidazolium salts. *Green Chem.* 2014; 16: 4515–4519.
59. Fiorani G., Guoa W., Kleij A.W.: Sustainable conversion of carbon dioxide: the advent of organocatalysis. *Green Chem.* 2014; DOI: 10.1039/c4gc01959h.
60. Hu J., Ma J., Zhang Z., Zhu Q., Zhou H., Lu W., Han B.: A route to convert CO_2 : synthesis of 3,4,5-trisubstituted oxazolones. *Green Chem.* 2014; DOI: 10.1039/c4gc02033b.
61. Ravanchi M.T., Sahebdehfar S.: Carbon dioxide capture and utilization in petrochemical industry: potentials and challenges. *Appl. Petrochem. Res.* 2014; 4: 63–77.
62. Sreenivasulu B., Gayatri D.V., Sreedhar I., Raghavan K.V.: A journey into the process and engineering aspects of carbon capture technologies. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 2015; 41: 1324–1350.
63. Damiani D., Litynski J.T., McIlvried H.G., Vikara D.M., Srivastava R.D.: The US department of Energy's R&D program to reduce greenhouse gas emissions through beneficial uses of carbon dioxide. *Greenhouse Gas Sci. Technol.* 2012; 2: 9–19.
64. Huang Ch.-H., Tan Ch.-S.: A review: CO_2 utilization. *Aerosol Air Qual. Res.* 2014; 14: 480–499.
65. Reducing Greenhouse Gas Emissions. The Potential of Coal (Organisation for Economic Co-operation and Development/International Energy Agency). OECD/IEA 2005.
66. Amouroux J., Siffert P., Massué J.P., Cavadias S., Trujillo B., Hashimoto K., Rutberg P., Dresvin S., Wang X.: Carbon dioxide: A new material for energy storage. *Prog. Nat. Sci. Mater. Internat.* 2004; 24: 295–304.
67. Olajire A.A.: Valorization of greenhouse carbon dioxide emissions into value-added products by catalytic processes. *J. CO_2 Util.* 2013; 3–4: 74–92.
68. Pruess K.: Enhanced geothermal systems (EGS) using CO_2 as working fluid – a novel approach for generating renewable energy with simultaneous sequestration of carbon. *Geothermics* 2006; 35: 351–367.
69. Pires J.C.M., Martins F.G., Alvim-Ferraz M.C.M., Simões M.: Recent developments on carbon capture and storage: an overview. *Chem. Eng. Res. Des.* 2011; 89: 1446–1460.
70. Rubin E.S., Mantripragada H., Marks A., Versteeg P., Kitchin J.: The outlook for improved carbon capture technology. *Prog. Energy Combust. Sci.* 2012; 38: 630–671.
71. Thorbjörnsson A., Wachtmeister H., Wang J., Höök M.: Carbon capture and coal consumption: implications of energy penalties and large scale deployment. *Energy Strategy Rev.* 2015; 7: 18–28.
72. Wall T., Stanger R., Liu Y.: Gas cleaning challenges for coal-fired oxy-fuel technology with carbon capture and storage. *Fuel* 2013; 108: 85–90.
73. IPCC Special Report on carbon dioxide capture and storage. Eds.: B. Metz, O. Davidson, H. de Coninck, M. Loos, L. Meyer. Cambridge University Press, New York 2005.
74. Lubaś J., Szott W., Dziadkiewicz M.: Analiza możliwości zwiększenia stopnia czerpania zasobów złóż ropy naftowej w Polsce. *Nafta Gaz* 2012; 68: 481–489.
75. Procesi M., Cantucci B., Buttinelli M., Armezzani G., Quattrocchi F., Boschi E.: Strategic use of the underground in an energy mix plan: synergies among CO_2 , CH_4 geological storage and geothermal energy. Latium Region case study (Central Italy), *Appl. Energ.* 2013; 110: 104–131.